

*Ministère de l'enseignement supérieur  
Et de La recherche scientifique  
Université El-Hadj Lakhdar-Batna  
Faculté des sciences  
Département d'informatique*



وزارة التعليم العالي  
والباحث العلمي  
جامعة الحاج لخضر - باتنة  
كلية العلوم  
قسم الإعلام الآلي

# MEMOIRE

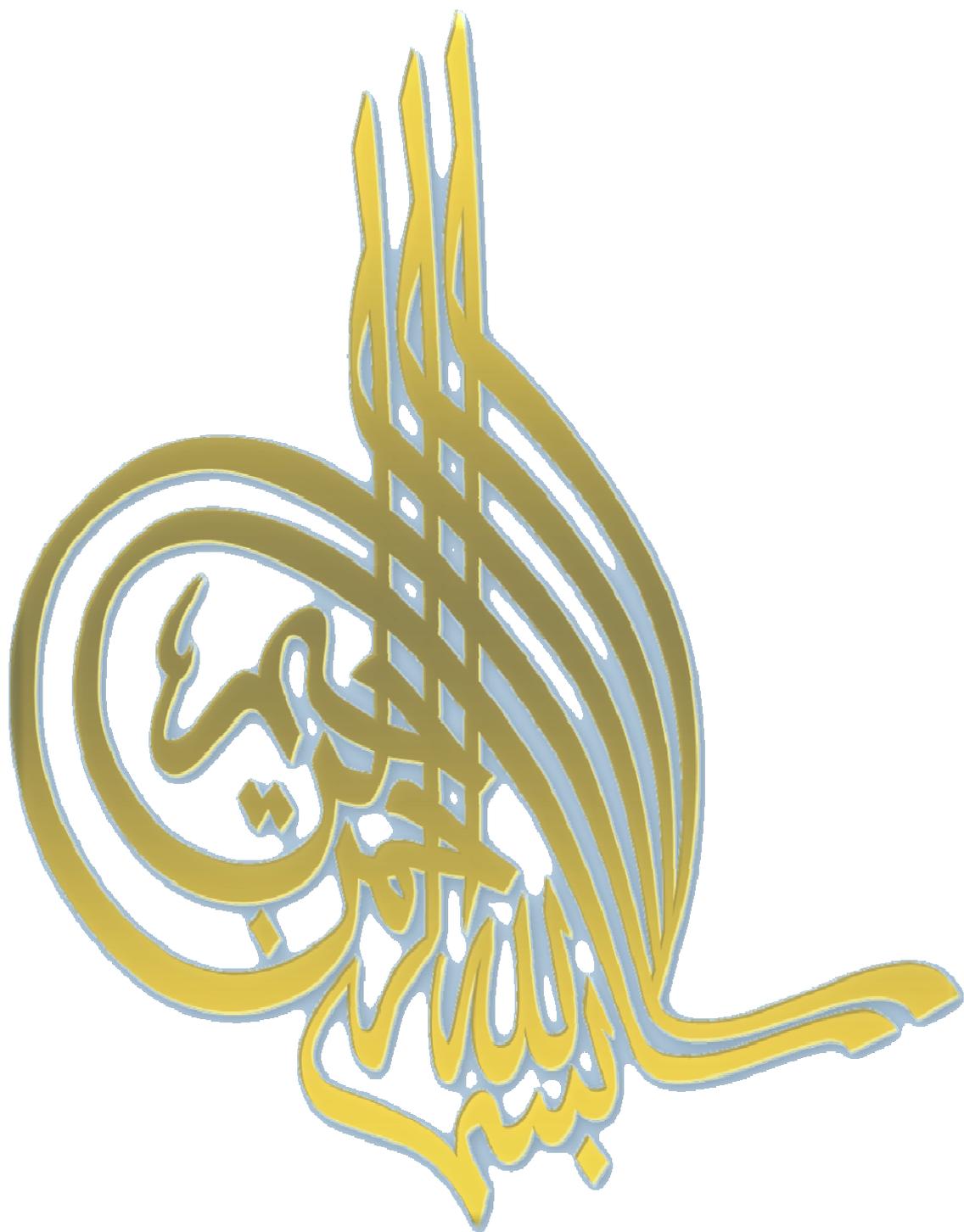
pour l'obtention du diplôme de **Magister en Informatique**  
*Option* : **Systemes informatiques intelligents et communiquant**  
**(SIIC).**

Par : Mme. *BOUZIANE Fairouz.*

***HTL : Une approche pour l'hybridation des  
techniques de localisation.***

*Devant le Jury :*

- **Président** : ZIDAT Samir (MCA), Université de Batna.
- **Rapporteur** : LAHLOUHI Ammar (MCA), Université de Batna.
- **Examineur** : MELKEMI Kamal Eddine (MCA), Université de Biskra.
- **Examineur** : BABAHENINI Med Chaouki (MCA), Université de Biskra.



# REMERCIEMENTS

*Avant tout, J'aimerais remercier mon dieu **Allah** qui m'a donné la santé ; la volonté et le courage pour me permettre de finaliser ce projet.*

*Je tiens à remercier tout d'abord mon encadreur : Dr.LAHLOUHI Ammar de m'avoir proposé ce sujet de recherche. Pour l'aide, le soutien et la disponibilité dont il a fait preuve tout au long de cette démarche, et qui par ses paroles, ses conseils et ses critiques a guidé mes réflexions.*

*Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.*

*Je tiens également à remercier mon époux pour ses Conseils et ses idées fournies au long de la préparation de ce mémoire.*

*Je remercie finalement ma famille pour m'encourager à finaliser mon projet.*

## ***Abstract***

*This memoir is in the context of localization. The positioning information is useful to provide users with specific services in place where they are - pizza or nearest cinema? location-based applications have strong precision and Coverage requirements that usually cannot be met by any single location-sensing technology. Combining several technologies (and/or) techniques provides a powerful new solution for localization.*

*We have proposed in this memoir an approach for hybridization of localization techniques, where we combined three technologies (GPS, WLAN and RFID) in order to ensure a pervasif positioning system (any where, any time), by improving ABL system (Always Best Located) [26]. The theoretical results of this research prove that this proposed approach, can ensure a more accurate estimation of user position.*

**Keywords:** Hybrid localization, ABL, HTL, RFID.

## ***Résumé***

*Ce travail de mémoire s'inscrit dans le contexte de la localisation. L'information de positionnement est intéressante pour fournir aux utilisateurs des services spécifiques au lieu dans lequel ils se trouvent : restaurant ou cinéma le plus proche ? Les applications de localisation ont des besoins spécifiques en termes de couverture et de précision, auxquels une technologie de localisation unique ne peut généralement pas répondre. En combinant plusieurs technologies (et/ou) techniques de localisation, on fournit une nouvelle solution robuste, plus précise pour la localisation.*

*Nous avons proposé dans ce mémoire une approche pour l'hybridation des techniques de localisation, où on a combiné les trois technologies (GPS, WLAN et RFID) afin de garantir un système de positionnement pervasif (n'importe où, n'importe quand), en améliorant le système ABL (Always Best Located) [26]. Les résultats théoriques de cette recherche prouvent que cette approche proposée, peut garantir une estimation plus précise de position de l'utilisateur.*

**Mots clés :** localisation hybride, ABL, HTL, RFID.

## ملخص

هذه الأطروحة تندرج في الإطار العام لتحديد الموقع. معرفة الموقع تعتبر معلومة ضرورية من أجل تزويد المستخدمين بخدمات محددة في المكان الذي يتواجدون فيه : المطعم أو السينما الأقرب ؟. التطبيقات المستندة إلى معرفة الموقع تتطلب احتياجات محددة من حيث التغطية والدقة، و التي عموما لا يمكن ضمانها باستخدام تكنولوجيا واحدة لتحديده، فمن خلال الجمع بين العديد من التقنيات (و / أو) التكنولوجيات المستخدمة لتحديد الموقع، يمكننا ضمان أكثر دقة لتحديده.

في هذه الأطروحة اقترحنا نهجا جديدا لتعجين بعض التقنيات المستخدمة لتحديد الموقع. ، حيث أننا جمعنا بين التقنيات الثلاث (*GPS*، *WLAN* و *RFID*) بغية ضمان نظام لتحديد المواقع في أي مكان وفي أي وقت يمكن للمستخدم أن يتواجد فيه ، و هذا من خلال تحسين نظام *ABL* (*Always Best Located*) [26]. النتائج النظرية لهذا البحث تبين أن النهج المقترح يمكن أن يضمن تقديرات أكثر دقة لموقع المستخدم، مع انخفاض واضح في إمكانية التحديد الخطأ للموقع.

**كلمات مفتاحية :** التحديد الهجين للموقع ، *RFID*، *HTL*، *ABL* .

# Table des matières

<b>REMERCIEMENT</b>	i
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE</b>	
<b>1. Etat de l'art des techniques et systèmes de localisation</b>	
1.1 Introduction .....	4
1.2 Localisation et positionnement.....	4
1.3 Positionnement de personnes et d'appareils .....	6
1.4 Exemples de services de localisation .....	7
1.5 Caractéristiques des systèmes de localisation .....	8
1.5.1 Modèles des données de localisation .....	8
1.5.2 Identification .....	8
1.5.3 Besoins d'une infrastructure.....	9
1.5.4 Limitations .....	9
1.5.5 Le prix.....	9
1.5.6 Position absolue ou relative .....	9
1.5.7 Position physique ou symbolique .....	9
1.5.8 Localisation ascendante ou descendante.....	10
1.5.9 L'exactitude et la précision .....	10
1.5.10 L'échelle .....	10
1.6 Caractérisations des méthodes .....	10
1.6.1 Utilisation d'estimations de distances.....	10
1.6.1.1 Les méthodes range-free .....	10
1.6.1.2 Les méthodes range-based .....	11
1.6.2 Nécessité de connaître la position d'ancres .....	11
1.6.3 Forme d'implémentation.....	11

---

1.6.3.1 Les méthodes centralisées.....	11
1.6.3.2 Les méthodes distribuées.....	11
1.7 Autres critères des algorithmes de localisation.....	12
1.8 Dangers et abus.....	13
1.8.1 Vie privée.....	13
1.8.2 Spamming.....	13
1.9 Les moyens de localisation outdoor.....	13
1.9.1 Les systèmes satellitaires.....	13
1.9.1.1 Le système de navigation GPS.....	14
1.9.1.2 Les améliorations du système GPS.....	20
1.9.1.3 Les alternatives au système GPS.....	21
1.9.2 Les systèmes de localisation par réseaux terrestres.....	24
1.9.2.1 Le système LORAN C.....	24
1.9.2.2 La localisation par la Télévision Numérique Terrestre.....	25
1.9.2.3 La localisation via les réseaux de téléphonie.....	26
1.9.3 La navigation par mesures inertielles.....	29
1.9.4 ARGOS.....	30
1.9.5 A.R.V.A.....	30
1.10 Les moyens de localisation indoor.....	31
1.10.1 Techniques géométriques d'estimation de position.....	32
1.10.2 Timing.....	34
1.10.3 Received Signal Strength (RSS).....	35
1.10.4 Angle Of Arrival (AOA).....	36
1.10.5 La localisation par ultrason.....	37
1.10.6 La localisation par infrarouge.....	38
1.10.7 La localisation par vidéo.....	39
1.10.8 La localisation par mesure de champ magnétique (boucles dans le sol).....	40

---

1.10.9 La localisation par mesure de phase des composantes du champ électromagnétique .....	40
1.10.10 La localisation par onde radio (WiFi, Bluetooth, RFID, ULB) .....	41
1.10.11 Analyse visuelle .....	44
1.10.12 Localisation par le système Cricket .....	45
1.10.13 Localisation par Active badge .....	46
1.10.14 Localisation par Active bat .....	46
1.10.15 Localisation par MOTIONSTAR TRACKER.....	47
1.10.16 Localisation par le système RADAR (Méthode déterministe) .....	47
1.10.17 La méthode d'identification des empreintes (Fingerprinting) .....	48
1.11. Classification des solutions existantes pour la localisation.....	49
1.11.1 Classe1 : Localisation mono technique .....	50
1.11.2 Classe2 : Localisation hybride(Multi-Techniques).....	51
1.11.3 La classe de projet.....	52
1.12 Conclusion.....	52
<b>2. La localisation hybride</b>	
2.1 Introduction .....	53
2.2 Principe de la localisation hybride .....	53
2.3 L'hybridation des techniques (et/ou) Technologies de localisation.....	53
2.3.1 L'hybridation des deux techniques TOA et AOA .....	54
2.3.2 L'hybridation entre GPS , WLAN et l'algorithme de détection de places .....	55
2.3.3 Une Fusion des données statiques pour une localisation hybride.....	57
2.3.4 L'hybridation des techniques CMDS et PSO .....	59
2.3.5 L'hybridation de l'algorithme Harmony Search avec une procédure locale de recherche .....	60
2.3.6 Un algorithme hybride de localisation basé sur RSSI .....	64
2.3.7 Un Système hybride de localisation multi-résolution (AP, EM) .....	65

---

2.3.8 Une approche hybride utilisant APS et PDM .....	67
2.3.9 La fusion des LDPs hybrides pour la localisation .....	68
2.3.10 L'hybridation A-GPS, WI-FI et Cell-ID.....	70
2.3.11 L'hybridation RFID, WIFI et Vision .....	72
2.3.12 L'hybridation des algorithmes Inertiels et RSSI.....	75
2.3.13 L'hybridation entre WI-FI, Fingerprinting et Trilatération .....	75
2.3.14 L'hybridation entre Fingerprinting et Trilatération .....	76
2.3.15 L'hybridation des techniques RSSI et AOA.....	77
2.3.16 Map-Aware basée sur l'hybridation de TOA et RSS.....	79
2.4 Classification des approches hybrides de localisation .....	81
2.5 Conclusion.....	83

### **3. HTL : une nouvelle approche pour la localisation**

3.1 Introduction .....	84
3.2 Notre objectif.....	84
3.3 Présentation de l'approche ABL à améliorer .....	85
3.3.1 Le positionnement par GPS .....	86
3.3.2 Le positionnement par l'algorithme de détection de place .....	86
3.3.3 Le positionnement par WLAN .....	87
3.3.3.1 L'algorithme de découverte avec GPS .....	88
3.3.3.2 L'algorithme de découverte sans GPS.....	88
3.4 La transition indoor- outdoor .....	92
3.5 Les inconvénients du prototype ABL.....	95
3.6 Principe des systèmes RFID.....	97
3.6.1 L'étiquette radiofréquence .....	97
3.6.1.1 Le format des tags.....	98
3.6.1.2 Le lecteur .....	100

---

3.6.1.3 La communication .....	100
3.6.1.4 La portée et le couplage .....	101
3.6.1.5 La mémoire .....	102
3.6.1.6 Les fréquences .....	103
3.6.2 Quelles applications pour les tags RFID ? .....	103
3.6.3 RFID : Avantages et inconvénients .....	104
3.6.3.1 Avantages .....	104
3.6.3.2 Inconvénients .....	105
3.6.4 La localisation par la technologie RFID.....	105
3.6.5 Certains trouvent que c'est génial car .....	105
3.6.6 Oui, mais d'autres pensent que .....	106
3.7 L'importance de téléphone mobile dans la vie.....	107
3.8 HTL : Hybridation de techniques de localisation.....	108
3.8.1 L'amélioration de la localisation en outdoor .....	109
3.8.2 L'amélioration de la localisation en indoor .....	110
3.9 Technologies et langage de programmation.....	117
3.10 Implémentation .....	120
3.11 Conclusion.....	123
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>124</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>126</b>

# *Liste des figures*

## **Figure**

<b>1.1</b> : Position en fonction du nombre et du type de nœuds de référence.....	05
<b>1.2</b> : Satellites du système de positionnement global GPS .....	15
<b>1.3</b> : Principe de la méthode Cell-ID .....	28
<b>1.4</b> : Calcul de la trajectoire d'un mobile .....	30
<b>1.5</b> : Estimation de position par trilatération .....	32
<b>1.6</b> : Estimation de position par triangulation .....	33
<b>1.7</b> : Le principe de multilateration... ..	33
<b>1.8</b> : Temps différentiel d'arrivée.....	35
<b>1.9</b> : Principe de l'utilisation des RSS.....	35
<b>1.10</b> : Localisation exploitant les AOA.....	36
<b>1.11</b> : Carte Cricket de deuxième version .....	45
<b>1.12</b> : Principe de fonctionnement du système Active Bat .....	47
<b>1.13</b> : MotionStar DC magnetic tracker .....	47
<b>2.1</b> : Résultat de la simulation en termes d'erreur de localisation.....	54
<b>2.2</b> : Les opérations de système Always Best Located (ABL).....	56
<b>2.3</b> : Résultat de comparaison entre les méthodes cellulaires, hybride et hybride.....	58
<b>2.4</b> : Comparaison de performance de RH+ avec d'autres algorithmes.....	60
<b>2.5</b> : Les positions des nœuds estimées par l'algorithme HS proposé.....	63
<b>2.6</b> : Les positions des nœuds estimées par l'algorithme SA.....	64
<b>2.7</b> : L'erreur de localisation obtenue par l'algorithme Weighted Centric .....	65
<b>2.8</b> : L'erreur de localisation obtenue par l'algorithme hybride proposé.....	65
<b>2.9</b> : Comparaison entre les méthodes EM, AP et la méthode hybride en termes de complexité de calcul et d'erreur de localisation.....	66
<b>2.10</b> : Comparaison entre les méthodes PDM, APS et la méthode hybride proposée en termes de l'erreur moyenne de localisation .....	68

---

<b>2.11:</b> L'erreur de localisation des différents systemes hybrides et non hybride en utilisant la technique ML.....	69
<b>2.12 :</b> L'effet de TOA et TDOA supplimentaires sur la précision de position .....	70
<b>2.13 :</b> La carte de mobilité.....	71
<b>2.14 :</b> Reconstruction de chemin .....	72
<b>2.15 :</b> Le résultat de la combinaison de la localisation WiFi/Vision.....	73
<b>2.16 :</b> Le résultat de la combinaison RFID/Vision.....	74
<b>2.17 :</b> Résultats de comparaison entre RSSI et l'algorithme hybride proposé.....	75
<b>2.18 :</b> Triangel Centroid Localization Algorithm.....	78
<b>2.19 :</b> Correction et optimisation de la position .....	78
<b>2.20 :</b> Variation des algorithmes en termes de l'erreur de localisation.. ..	79
<b>2.21 :</b> Un modèle d'une carte-conscience (Map-Aware) .....	80
<b>3.1 :</b> Les opération de système Always Best Located(ABL) .....	92
<b>3.2 :</b> Le lecteur et le transpondeur sont les principales composantes de tout système RFID..	97
<b>3.3 :</b> L'étiquette radiofréquence (transpondeur, étiquette RFID).....	98
<b>3.4 :</b> Le transpondeur et l'antenne sont fins et souples, collés sur une auto collant.....	99
<b>3.5 :</b> Le transpondeur au centre, entouré d'une antenne de cuivre bobinée .....	99
<b>3.6 :</b> Ce tag est concu pour etre injecté sous la peau des animaux. Il est moulé dans.un tube de verre de 1 à 3 cm .....	99
<b>3.7 :</b> Les RFID peuvent etre miniaturisés à l'extreme. Ces tags, fabriqués par Hitachi, mesurent 0.25 mm <sup>2</sup> ;ils sont pratiquement invisible .....	100
<b>3.8 :</b> HTL ; Une approche hybride pour le positionnement pervasif.....	117
<b>3.9 :</b> Android SDK Manager configuré sur Eclipse .....	118
<b>3.10 :</b> Eclipse : environnement de développement intégré .....	119
<b>3.11 :</b> L'environnement Eclipse après avoir configuré l'ADT.....	119
<b>3.12 :</b> Lancement de l'environnement de programmation .....	120
<b>3.13 :</b> La création de notre application nommée SIIC-LOCATION .....	120
<b>3.14 :</b> Comparaison entre la précision de localisation fournie par les approches (HTL et ABL).....	122



# *Liste des Tableaux*

## **Tableau**

<b>2.1</b> : Résultat de simulation en termes de précision .....	55
<b>2.2</b> : Les résultats expérimentants de l'hybridation proposée.....	57
<b>2.3</b> : L'erreur de position avec et sans prise en compte de contrainte de route pour les 3 méthodes (cellulaire, hybride1, hybride2) .....	59
<b>2.4</b> : Les différents types de mesures de localisation .....	71
<b>2.5</b> : Comparaison des résultats en utilisant les différentes méthodes.....	77
<b>2.6</b> : Classification des approches hybrides de localisation.....	82
<b>3.1</b> : Les résultats expérimentant de l'hybridation proposée.....	94
<b>3.2</b> : Exemple de la BDD associée au WLAN positioning.....	112

# *Liste des abréviations*

**ABL** : Always Best Located.

**A-GPS** : Assisted GPS.

**AOA** : Angle Of Arrival.

**A.R.V.A** : L'Appareil de Recherche de Victimes d'Avalanche.

**AOR-E** : Atlantic Ocean region-East.

**AOR-W** : Atlantic Ocean Region-West.

**AP** : Alternating Projection.

**AP** : Access Point.

**APS** : Ad-hoc Positioning System.

**ATSC** : American Television Standard Committee.

**Cell-ID** : Cell Identification.

**CHDM** : Convex Hull Detection Method.

**CL** : Crucial Locations.

**CMDS** : Classical Multi-Dimensional Scaling.

**CRLB** : Cramér-Rao Lower Bound.

**CS** : Commercial Service.

**CTS** : Clear To Send.

**DCs** : Distribution Centers.

**D-GPS** : Differential GPS.

**DOA** : Deference of arrival.

**DOD** : Department Of Defense.

**DOP** : Dilution Of Precision.

**DR** : Dead Reckoning.

**DSMAC** : Digital Scene Matching Area Correlation.

**E112** : Enhanced 112.

**E911** : Enhanced 911.

**E-AOA** : Enhanced Angle of Arrival.

**EGNOS** : Euro Geostationary Navigation Overlay Service.

**EKFs** : Enhanced Kalman Filters.

**E-OTD** : Enhanced - Observed Time Difference.

**ESA** : European Space Agency.

**E-TOA** : Enhanced Time of Arrivals.

**EM** : Expectation Maximization.

**FAA** : l'Administration Fédérale de l'Aviation.

**FDMA** : Frequency Division Multiple Access.

**GLONASS** : GLObal NAVigation Satellite System.

**GMLC** : Gateway Mobile Location Center.

**GNSS** : Global Navigation Satellite Systems.

**GPRS** : General Packet Radio Service.

**GRT** : GNSS Reference Time.

**GSM** : Global System for Mobile Communications.

**GUS** : Ground Uplink System.

**HLR** : Home Location Register.

**HS** : Harmony Search.

**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**IMM** : Interacting Multiple Model Estimator.

**INS** : Inertiel Navigation System.

**IOR** : Indian Ocean Region.

**IR** : Impulse Radio.

**k-VPP**: k voisins les plus proches.

**KF** : Kalman Filter.

**LBS** : Location Based Services.

**LCS** : LoCation Services.

**LDPs** : Location Dependent Parameters.

**LMU** : Location Measurement Unit.

**LOP** : Line Of Position.

**LORAN** : LOng RAnge Navigation.

**LOS** : Line Of Seight.

**LOS** : Line Of Sight.

**LPs** : Location Points.

**LPS** : Local Positioning System.

**LS** : Least Squares.

**LSS** : Least Square Scaling.

**MAR** : Mobile Augmented Reality.

**ML**: Maximum likelihood.

**MOGAs** : Algorithmes Génétiques Multi critères.

**MSAS** : Japanese Multi-Function Satellite Augmentation System.

**MU** : Mobil User.

**NLOS** : Non Line Of Sight.

**NM** : Nœud Mobile.

**NR** : Nœud de référence.

**OACI** : Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

**OMI** : Organisation Maritime Internationale.

**OS** : Open Service.

**O-TDOA** : Observed Time Difference of Arrival.

**PC** : Personal Computer.

**PCL** : Personal Common Locations.

**PCRLB** : Posterior CRLB.

**PDM** : Proximity Mapping.

**PDOA** : Phase Difference of Arrival.

**PF** : Partical Filter.

**PLMN** : Public Land Mobile Network.

**PN** : Pseudo Noise.

**POR** : Pacific Ocean Region.

**PR** : Pseudorange.

**PRS** : Public Regulated Service.

**PSO** : Particle Spring Optimization.

**QoS** : Quality Of Service.

**RF** : Radio Fréquence.

**RFID** : Radio Frequency Identifier.

**RPs** : Reference Points.

**RSB** : Rapport Signal à Bruit.

**RSS** : Received Signal Strength.

**RTK** : Real Time Kinematics.

**RTS** : Request To Send.

**RTT** : Round Time Trip.

**RGPA** : Robust Geometric Positioning Algorithm.

**SAR** : Search And Rescue service.

**SDP**: Semi Definite Programming.

**SMLC** : Serving Mobile Location Centre.

**SOL** : Safety Of Life service.

**SRNC** : Serving Radio Network Controller.

**TDMA** : Time Division Multiple Access.

**TDOA** : Time Difference of Arrival.

**TERCOM** : Terrain Contour Matching.

**TM** : Terminal Mobil.

**TML** : Traditional Maximum Likelihood.

**TNT** : Télédiffusion Numérique Terrestre.

**TOA** : Time Of Arrival.

**T-R** : Transmitter-Receiver.

**UE** : User Equipment.

**ULB** : Ultra Large Bande.

**UMI** : Inertial Measurement Unit.

**UMTS** : L'Universal Mobile Telecommunications System.

**UPC** : l'Université de Catalogne en Espagne.

**U-TDOA** : Uplink Time Difference of Arrival.

**UWB** : Ultra Wide Band.

**VoIP** : Voice over IP.

**VPP** : Le voisin le plus proche.

**WAAS** : Wide Area Augmentation System.

**WECA** : Wireless Ethernet Compatibility Alliance.

**WGS84** : World Geodetic System 1984.

**Wi-Fi** : Wireless-Fidelity.

**WLAN** : Wireless Local Area Network.

**WMS** : Wide Area Master Station.

**WRSs** : Wide Area Ground Reference stations.

**WSN** : Wireless Sensors Network.

**3GPP** : 3rd Generation Partnership Project.

# ***INTRODUCTION GENERALE***

Ces dernières années ont été marquées par un développement important des dispositifs mobiles (e.g. téléphones portables, assistants personnels communicants, capteurs, etc.). Ces dispositifs, qui connaissent une évolution très rapide, sont de plus en plus performants et de mieux en mieux équipés (e.g. capacité mémoire, écran tactile, système de positionnement, accéléromètre, etc.). Ils sont par ailleurs capables de communiquer avec d'autres terminaux, fixes ou mobiles, à l'aide de réseaux sans fil.

Les dispositifs mobiles ont un impact important sur les services proposés aux utilisateurs. De nouveaux services accessibles aux utilisateurs de terminaux mobiles apparaissent sans cesse dans différents domaines d'application (commerce, santé, transport..., etc.). Nous entrons aujourd'hui dans l'ère de l'informatique pervasive avec pour enjeu de proposer aux utilisateurs des services disponibles n'importe où et n'importe quand. L'information y est stockée partout, dans différents formats et sur différents types de terminaux mobiles interconnectés au moyen de réseaux sans fil.

Différents aspects des systèmes d'information pervasifs sont à l'étude aujourd'hui, comme ceux liés à la sécurité et à la confidentialité des données ou à l'adaptation et la gestion du contexte.

Dans ce projet, nous nous focalisons sur le problème de la localisation dans les systèmes d'information pervasifs. Ces systèmes, dits « ambiants », évoluent dans un contexte particulièrement dynamique du fait de la mobilité des utilisateurs et des sources de données qui peuvent apparaître et disparaître à tout moment. La mobilité des sources de données et les possibles déconnexions rendent en effet difficile la gestion d'un schéma de placement, décrivant la localisation des sources de données.

Les applications visent à proposer aux utilisateurs mobiles des services dépendants de leur localisation. Pour ce faire, il est impératif de connaître leur localisation géographique à n'importe quel moment. A cette fin, de nombreux systèmes de positionnement ont été proposés ces dernières années. Le plus connu est sans conteste le système américain GPS (Global Positioning System) qui repose sur l'utilisation d'une infrastructure de satellites grâce auxquels un terminal mobile, équipé d'un récepteur spécifique, peut déterminer sa position avec une précision de l'ordre de quelques mètres. Le système GPS appartient à la famille des GNSS (Global Navigation Satellite Systems) qui exploitent des signaux satellitaires. Cette famille compte également le système GLONASS, la solution russe, ainsi que le futur système européen GALILEO.

Si certains de ces systèmes couvrent la quasi-totalité de la planète, les systèmes de positionnement satellitaires ne permettent pas à un utilisateur de se localiser n'importe où. Outre la présence de zones d'ombre dans lesquelles les signaux ne peuvent être reçus, les phénomènes de réflexion et d'atténuation des signaux émis par les satellites rendent particulièrement délicat le positionnement au moyen des GNSS en milieux urbains ou fermés (e.g. intra-bâtiment, parkings couverts, etc.). De nombreuses solutions alternatives ont été proposées afin de pallier à cette limite. Une solution consiste ainsi à déployer sur les bâtiments des répéteurs dont le rôle est d'amplifier le signal pour qu'il soit exploitable dans le bâtiment ainsi équipé. L'intérêt est alors de pouvoir utiliser le même récepteur pour se positionner à l'intérieur ou non des bâtiments. Cette solution est toutefois difficile à déployer à grande échelle puisqu'elle nécessite l'installation d'équipements dédiés à chaque bâtiment en fonction de sa taille, du nombre d'étages, etc.

Pour ces multiples raisons, il nous a semblé intéressant d'étudier plus en avant les approches permettant aux nœuds d'estimer leur position en fonction de leur environnement. La localisation est un domaine de recherche dont l'attrait est croissant ces dernières années et de nombreuses propositions ont été faites. Une étude approfondie de ces différentes approches est nécessaire pour prévoir la meilleure solution à déployer. Cette solution peut aussi être issue de la fusion de plusieurs technologies. Les technologies "indoor", prises individuellement, connaissent des limitations comme une portée limitée, ou une dérive au cours du temps. Il est alors nécessaire de combiner plusieurs technologies de localisation à l'aide d'une infrastructure les faisant coopérer entre elles. Une telle solution doit conduire à une meilleure estimation de la position de l'équipement.

Ce mémoire apporte une contribution sur les techniques de localisation dans l'environnement pervasif, afin d'assurer être localisés n'importe où et n'importe quand. Le premier chapitre présente un état de l'art de l'ensemble des techniques et technologies de localisation existantes. Nous avons alors identifié les avantages et les inconvénients de chacune d'elles afin de proposer une approche hybride de certaines de ces techniques pour améliorer la précision de localisation. Ensuite, nous avons présenté une classification des travaux existants en relation avec notre projet.

Dans le second chapitre, nous présentons le principe de la localisation hybride avec certaines hybridations des techniques de localisation proposées dans la littérature, en classifiant ces hybridations selon une classification qui se compose de quatre classes où :

- ✓ La Classe 1 : Comporte les systèmes utilisant plusieurs senseurs de mêmes types de senseurs ;
- ✓ La Classe 2 : Comporte les systèmes utilisant plusieurs senseurs mais de types différents ;
- ✓ La Classe 3 : Comporte les systèmes basés sur des approches (filtre de Kalman + markoviennes..., par exemple) coopératives avec les deux types précédents ;
- ✓ La Classe 4 : Comporte les systèmes basés sur une coopération de systèmes différents utilisant indifféremment, avec les deux premiers types.

Dans le troisième chapitre, on a proposé l'idée de notre approche HTL (Hybridation des Techniques de Localisation). Celle-ci consiste à combiner les trois technologies : GPS, WLAN et RFID, afin de surmonter certains inconvénients et d'assurer un service de localisation continu (n'importe où et n'importe quand). L'approche proposée a été évaluée par l'implémentation d'une application Android installée et exécutée sur un terminal Android Virtuel.

Enfin, une conclusion générale parachève ce mémoire par un bilan sur ce qui a été fait avec les principaux résultats obtenus, et certaines perspectives qui mériteraient d'être approfondies,

# *Chapitre*

## **1. ETAT DE L'ART DES TECHNIQUES DE LOCALISATION**

### ***1.1 Introduction***

La localisation est connue depuis bien longtemps. Elle consiste en une virtualisation de la position physique d'un objet sur une carte géographique. C'est grâce à la localisation que les bateaux ne se perdent pas dans les mers. C'est aussi grâce à la localisation que les avions trouvent leurs chemins et se croisent sans collision dans l'espace. Finalement, c'est grâce à la localisation que les promeneurs trouvent les endroits qu'ils cherchent.

De nos jours, les techniques de localisation sont multiples. Une bonne maîtrise et connaissance de ces diverses méthodes sont nécessaires afin de pouvoir proposer de nouvelles approches de localisation. Ce premier chapitre est un panorama des solutions de localisation disponibles, en mettant en avant les performances et les contraintes qui leurs sont liées.

### ***1.2 Localisation et positionnement***

La localisation peut être définie comme la position d'un objet ou d'une personne dans un repère [2]. Pour répondre à la question « Où suis-je ? », il faut des éléments indispensables tels que des nœuds voisins (repères) connaissant leur position réelle ou estimée, un processus de communication pour partager ces informations de position et des algorithmes pour estimer ma position en fonction des informations récoltées.

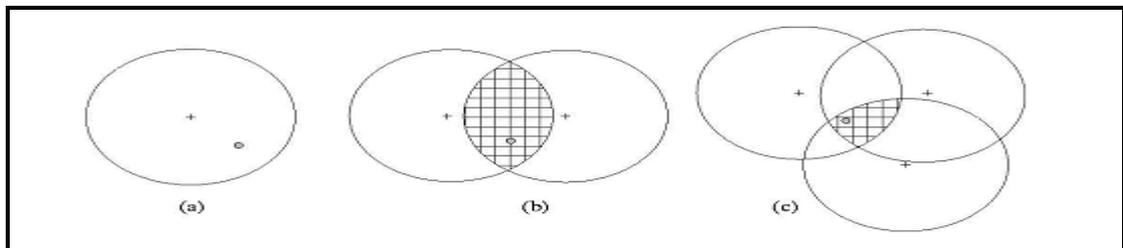
La réalisation d'un système de localisation implique une infrastructure contenant un ensemble de capteurs permettant d'acquérir les informations nécessaires sous diverses formes (acoustique, électrique, etc.), une référence par rapport à laquelle la position de l'objet à localiser est déterminée et une partie intelligente permettant de traiter les échantillons acquis et d'extraire l'information nécessaire pour déterminer la position. Le traitement des données

peut être effectué à un emplacement dédié du réseau ou au niveau de l'objet mobile souhaitant se localiser. Dans le premier cas le procédé est appelé **localisation** tandis que dans le deuxième il est connu sous le nom de **positionnement**. Si l'information sur la position est calculée au niveau du réseau et retransmise à l'objet mobile ou inversement, les deux notions peuvent être inter-changées.

Trois types de position sont observés :

- **Positions absolues** : renseignent sur la position réelle de l'objet sur le globe terrestre (longitude et latitude) ou dans l'espace (longitude, latitude et altitude).
- **Positions relatives** : indiquent juste une direction par rapport à un voisinage donné à droite, au bout de la rue par exemple.
- **Positions symboliques** : désignent un espace particulier nommé telle qu'une salle.

Pour estimer la position d'un objet, il faut des points dont la position est connue ou des points qui connaissent leur propre position ; appelés points de référence ou ancres. Considérons qu'un nœud (A) a désiré estimer sa position. Son estimation de position dépendra du nombre et du type de position de nœuds de référence qu'il pourra trouver. La figure (Fig. 1.1) détaille trois cas [3].



*Fig1.1 : Position en fonction du nombre et du type de nœuds de référence [3].*

Dans le cas 1.1–(a), un seul nœud de référence est disponible. Le point A aura une position de type Symbolique « je suis dans la pièce P » ou relative « je suis en bas à droite de la pièce P ». La position de A est une position de proximité car seule une indication d'appartenance à une zone donnée peut être obtenue dans un tel contexte.

Si le point A utilise deux points de références : le cas 1.1–(b), alors son positionnement est plus précis qu'avec un seul nœud (il possède plus d'informations pour estimer sa position). Dans le cas où les nœuds de référence ont une très bonne précision de localisation, alors A est l'un des points d'intersection des deux cercles (cercle de couverture radio par exemple). Dans

le cas contraire, A appartient à la zone de recouvrement des deux points de référence (zone commune aux deux nœuds de référence). La position de A est d'autant mieux estimée que le nombre d'ancres augmente. Dans le cas 1.1-(c), la position de A est soit un point d'intersection des trois cercles, soit une aire de recouvrement limitée [3].

➤ **Les solutions possibles pour les applications de localisation**

La gamme des solutions possibles pour les applications de localisation est constituée par les systèmes à repères, les systèmes inertiels ou les systèmes à ondes.

- **Les systèmes à repères** : utilisent des balises installées dans des positions fixes. Une indication sur la position de l'objet est obtenue en recherchant la balise la plus proche.
- **Les systèmes inertiels** : exploitent la vitesse ou l'accélération de l'objet souhaitant être localisé. La position de départ étant connue, l'intégration dans le temps de l'accélération subie par le mobile permet d'estimer sa position. Dans cette catégorie on retrouve les odomètres, les accéléromètres et les gyroscopes.
- **Les systèmes à base d'ondes** : exploitent les perturbations produites dans un système physique par l'énergie d'une onde optique, acoustique ou électrique. Dans un premier temps les ondes sonores et optiques/lumineuses ont été exploitées dans la réalisation des systèmes de positionnement. Leurs performances étant limitées en particulier en présence d'obstacles, ces dispositifs sont limités à certaines catégories d'applications. Les systèmes de localisations basés sur l'utilisation des signaux radio ont connu un essor plus important [1].

### ***1.3 Positionnement de personnes et d'appareils***

Dans les services de localisation, on peut vouloir localiser soit des objets, soit des personnes. La localisation d'un objet se fait en localisant un appareil couplé à l'objet. Par exemple dans le cas de tracking de marchandises, on ne s'intéresse pas à savoir où se trouve le chauffeur mais bien où se trouve le camion puisque la personne qui conduit le camion n'est pas pertinent pour un tel système. De manière similaire, dans un système de localisation de voiture, généralement utilisé pour retrouver une voiture volée, ce n'est pas le conducteur dont on souhaite connaître la position mais bien le véhicule. La localisation d'un appareil peut correspondre à une personne mais ce n'est pas une obligation. Dans le cas de la localisation de personnes, on souhaite connaître la position d'une personne en particulier et celle-ci garde généralement un certain contrôle sur cette localisation en ayant la possibilité de ne pas faire

connaître sa position. Cette notion est également utile si on imagine qu'une personne peut posséder plusieurs appareils de positionnement et que par exemple, il en oublie un. Il faudra dans ce cas être capable de localiser la personne et non pas les appareils qui donneront des localisations différentes [27].

### ***1.4 Exemples de services de localisation***

Pour donner une idée plus claire de ce que l'on considère comme étant un service de localisation, nous allons introduire les grandes familles de services que l'on peut imaginer ; il faut noter que cette liste n'est pas exhaustive :

➤ Le suivi de marchandises, de flottes de camions, de taxis,...est généralement considéré comme une des applications majeures des services de localisation car ils ont une utilité industrielle. En effet, ils peuvent améliorer les rendements en fournissant des informations comme l'avertissement de retards de livraison. Ils permettent aussi d'optimiser l'usage d'une flotte de taxis. Ce genre de services est déjà mis en œuvre dans de nombreuses sociétés comme les Taxis Verts à Bruxelles.

➤ On peut également faire du suivi de personnes. Certains parents pourraient vouloir connaître à tout moment où se trouve leur enfant ou être avertis quand il quitte l'enceinte de l'école. Le suivi de personnes soulève cependant des questions de respect de la vie privée.

➤ Les informations générales par rapport au lieu où l'on se trouve sont des services ayant une forte valeur ajoutée. Dans cette catégorie on retrouve par exemple un service permettant de rechercher l'ensemble des restaurants selon des critères (prix, style, . . .) dans un rayon donné autour de l'utilisateur.

➤ Les services liés à la sécurité sont également une application possible pour les services de localisation. Certaines voitures pourraient être équipées d'un système de positionnement capable d'appeler une ambulance et de donner la position précise du véhicule en cas de problème. Mais cette catégorie regroupe également des informations d'intérêt général, comme l'avertissement de personnes présentes dans une certaine zone qu'ils doivent évacuer après un feu ou une explosion.

➤ Les services de communication sont une autre application des services de localisation. Dans la lignée des services de messageries instantanés, on localise et on communique avec des connaissances situées dans une même zone géographique.

➤ Finalement, la publicité est vue comme une des industries majeures pouvant tirer parti des services de localisation. On pourrait demander la liste de magasins environnants qui font des promotions ou être avertis des produits en promotion lorsque l'on rentre dans un magasin.

En plus du suivi de marchandises, la localisation de téléphones mobiles est également vue comme une des motivations à développer des services géo-localisés. La « Federal Communication Commission » (l'organe américain de régulation des communications) a exigé que les opérateurs de réseaux GSM américains puissent positionner leurs utilisateurs dans un rayon de 125 mètres afin de faciliter le travail des services d'urgence. Cette régulation a poussé au développement de ces systèmes de localisation mais a fait également réfléchir aux possibilités des services géo-localisés. Désormais, les téléphones cellulaires vendus aux USA ont un système de localisation intégré que ce soit grâce à une puce GPS ou grâce à une des méthodes de positionnement [27].

## ***1.5 Caractéristiques des systèmes de localisation*** [9]

Dans cette partie, nous présentons quelques systèmes de localisation déjà commercialisés. Pour mieux comprendre les avantages et les inconvénients de chacun des systèmes, un nombre de critères essentiels pour les systèmes de localisation sera établi auparavant.

### **1.5.1 Modèles des données de localisation**

Les données de localisation devraient être définies suivant un modèle abstrait de l'espace qui peut être métrique, ensembliste, structurel ou sémantique. Les services attentifs à la localisation en environnements extérieurs utilisent aussi bien un modèle euclidien (coordonnées géodésiques), un modèle structurel (graphe pour la navigation routière) ou un modèle sémantique (inspiré de la géographie politique, physique, ou de l'urbanisme). Les services attentifs à la localisation intra-bâtiment ont par contre un plus fort lien avec un modèle ensembliste de l'espace (divisant un bâtiment en étages et pièces) relativisant par-là l'importance du modèle euclidien (coordonnées locales). Les technologies de localisation fournissent des données exprimées plus ou moins naturellement dans un de ces modèles, et devraient être intégrées à un niveau d'abstraction correspondant.

### **1.5.2 Identification**

Les technologies de localisation peuvent fournir de manière plus ou moins robuste une identification d'une personne ou d'un objet. Une identification forte fait référence à une correspondance exacte avec une base de données externe des caractéristiques représentant les objets ou les personnes. L'authentification est une propriété encore plus forte qui lie cette correspondance à une structure de sécurité. Une identification faible peut correspondre à la possibilité d'attribuer des labels différenciant subjectivement les objets ou personnes détectés sans faire appel à des références ou à des bases de données externes. Il peut aussi

correspondre à une simple identification d'un dispositif dans une catégorie (par exemple un code barre).

### **1.5.3 Besoins d'une infrastructure**

Les technologies les plus précises pour la localisation intra-bâtiment, comme l'ultrason ou l'infrarouge, utilisées dans des solutions antérieures telle que "active badges", "active bats", ou le système Cricket, tendent à être extrêmement coûteuses, nécessitant une infrastructure fixe dédiée et chargeant les objets ou personnes à localiser d'un dispositif spécialement prévu à cette effet. Une contrainte forte pour le déploiement de technologies dans des conditions d'applications réelles est d'être soit peu chères, soit non dédiées, ou encore de réutiliser une infrastructure déjà existante pour d'autres raisons.

### **1.5.4 Limitations**

A chaque système ses limitations qui définissent généralement les conditions sous lesquelles le système ne fonctionne pas ou a une faible performance. Ces conditions sont liées à la puissance, au niveau des bruits, à la topologie de l'endroit, à d'autres variables du système, le canal et le mode de fonctionnement.

### **1.5.5 Le prix**

Le prix reste l'un des critères les plus communs et généraux, il peut être affecté par un ou plusieurs des critères cités ci-dessus, et il joue un rôle principal dans le choix d'un consommateur et même d'un développeur de systèmes.

### **1.5.6 Position absolue ou relative**

Un système à localisation absolue utilise une grille référentielle universelle pour tous les objets et les positions. Un système à localisation relative utilise un plan référentiel relatif à sa propre position qui peut changer d'un endroit à l'autre. Un avantage commun des deux systèmes est la possibilité de traduire les coordonnées d'un système à un autre, bien que le système absolu reste plus universel [10].

### **1.5.7 Position physique ou symbolique**

Un système de localisation peut donner une information physique ou symbolique. Une position physique est un ensemble de coordonnées qui représente un système de cartographie utilisé pour identifier une zone. Par contre, une position symbolique est une abstraction de celle-ci, elle précise un endroit 'au laboratoire' plutôt qu'un ensemble de coordonnées « 35 degré N, 45 degré S, élévation 200 ». D'habitude, un système qui donne des informations physiques peut être mis à niveau pour lui permettre de fournir des positions symboliques; il suffit d'ajouter un algorithme et des codes, ce qui est plutôt un travail au

niveau logiciel du système. Une différence essentielle entre les deux systèmes est bien la précision, un système à position symbolique se limite par une précision relative à la surface de l'endroit.

### **1.5.8 Localisation ascendante ou descendante**

Les systèmes utilisent une localisation descendante ou ascendante. Dans la première, le récepteur se localise en utilisant les signaux provenant des transmetteurs et puis il envoie cette information aux stations de base. Alors que dans la localisation ascendante, un serveur au niveau de la station de base estime une position de la cible (le récepteur) et puis transmet cette information à l'utilisateur, ces deux cas étant localisation à sens unique.

### **1.5.9 L'exactitude et la précision**

Un critère principal de tout système de localisation est de toute évidence la précision qui correspond à la valeur de l'erreur commise par le système lors d'une estimation d'une position. Mais il y a aussi l'exactitude qui est définie comme la capacité du système à garder un niveau de précision pour toutes ses estimations. En général, il existe un compromis entre les deux, où pour un système donné il est capable de fonctionner avec une exactitude plus élevée si la précision est moins contraignante, ce qui veut dire moins de précision. Il faut noter que plus le système a une meilleure performance, plus il pousse vers une amélioration de ces deux critères en parallèle.

### **1.5.10 L'échelle**

En fait un système comme le GPS peut couvrir la terre, d'autres peuvent couvrir une région métropolitaine ou un immeuble ou même une seule chambre. Mais en plus un système peut localiser jusqu'à 10 cibles à la fois alors que d'autres peuvent localiser un nombre illimité de cibles. L'échelle est un critère essentiel surtout pour étudier le rapport efficacité/prix. L'échelle d'un système peut souvent être élargie en développant l'infrastructure.

## ***1.6 Caractérisations des méthodes [6]***

### **1.6.1 Utilisation d'estimations de distances**

#### ***1.6.1.1 Les méthodes range-free***

Ces méthodes ne calculent jamais de distances entre voisins. Elles utilisent d'autres informations telles que la connectivité pour identifier la position des nœuds. Elles semblent donner de bons résultats dans les réseaux denses et réguliers.

### **1.6.1.2 Les méthodes range-based**

Ces méthodes estiment les distances entre les nœuds et ensuite dérivent de ces distances les positions des nœuds.

## **1.6.2 Nécessité de connaître la position d'ancres**

Si une méthode requiert l'encodage au préalable de la position d'un certain nombre d'ancres, cela signifie qu'il faudra qu'une personne intervienne avant un déploiement pour mesurer la position d'un certain nombre de nœuds. Cela est parfois difficile, voire impossible dans certaines situations. Et donc, le fait que la méthode de localisation requiert ou non de connaître la position d'un certain nombre d'ancres est une caractéristique importante de la méthode.

### ➤ **Les méthodes anchor-based**

Sont celles qui ne fonctionnent pas sans connaître la position d'un certain nombre d'ancres à priori.

### ➤ **Les méthodes anchor-free**

Sont celles qui n'ont besoin de la position d'aucun nœud pour fonctionner ; elles créent donc une carte relative du réseau. Par relative, nous entendons une carte qui est à une translation, une rotation orthogonale, une réflexion et une dilatation près de la 'vraie' carte. Autrement dit, c'est une carte qui conserve les rapports entre les distances entre tous les points.

## **1.6.3 Forme d'implémentation**

Nous distinguons plusieurs façons d'implémenter le processus de localisation :

### **1.6.3.1 Les méthodes centralisées**

Tous les nœuds communiquent avec leurs voisins et renvoient à l'ordinateur central soit des informations sur le signal, soit directement les distances. L'ordinateur central s'occupe si nécessaire d'estimer les distances à partir des informations sur le signal et ensuite de localiser les nœuds.

### **1.6.3.2 Les méthodes distribuées**

Ici tous les nœuds communiquent avec leurs voisins pour estimer les distances et échanger leurs informations de voisinage. Ils dérivent ensuite de façon distribuée la position de tous les nœuds dans le réseau. C'est-à-dire qu'à la fin du processus de localisation, chaque nœud doit connaître sa position ainsi que celles de ses voisins et ce sans l'aide d'un ordinateur central qui effectuerait les calculs. Pour les grands réseaux, on considère qu'une méthode distribuée est nécessaire car les méthodes centralisées demanderaient trop de communication

pour l'acheminement des informations vers l'unité centrale et consommeraient donc trop d'énergie.

## 1.7 *Autres critères des algorithmes de localisation* [6]

Nous distinguons beaucoup d'autres critères à propos des méthodes de localisation. Nous en donnons ici une liste non exhaustive. Il est très intéressant de les découvrir même si dans la pratique, il est impossible de tenir compte de tous ces critères lors du développement d'un algorithme de localisation. Néanmoins, il peut être intéressant de les garder à l'esprit afin de pouvoir rendre notre méthode meilleure selon tel ou tel critère.

### ➤ *Précision de la localisation*

Nous parlons de l'erreur qu'il y a entre les vraies positions des nœuds et les positions calculées par la localisation.

### ➤ *Coût énergétique de la localisation*

Dans les WSN, une gestion de l'énergie très économique est nécessaire et comme le facteur dominant de la consommation d'énergie est la communication radio, il faut trouver un algorithme qui communique le moins possible via la radio.

### ➤ *Robustesse au bruit*

Il faut analyser comment un algorithme se comporte face au bruit rencontré dans les mesures de distances avec les voisins.

### ➤ *Passage à l'échelle*

Est-ce qu'un algorithme fonctionne sur un réseau de plusieurs milliers de nœuds? Et si oui, est-il toujours aussi efficace? Ce critère est en rapport avec le fait qu'un algorithme soit implémentable de façon distribuée ou non.

### ➤ *Tolérance à la basse connectivité*

Est-ce qu'un algorithme fonctionne dans un réseau à basse connectivité (un réseau où chaque nœud ne sait communiquer qu'avec un petit nombre de ses voisins)? Comment sont affectées les performances d'un algorithme face à cette situation?

### ➤ *Réactivité du système*

Avec quelle rapidité le système de localisation nous renvoie-t-il les positions des nœuds? Ceci est particulièrement important lorsque l'on veut s'occuper des nœuds mobiles et de suivi de cibles.

## **1.8 Dangers et abus**

### **1.8.1 Vie privée**

Une des grandes craintes des services de localisation est l'atteinte à la vie privée. Le fait de communiquer sa position peut être réutilisé à des fins commerciales ou dans un état policier. Afin de limiter ce risque, il faut donner à l'utilisateur un maximum de contrôle sur la transmission de données ainsi que des garanties légales par rapport à l'utilisation, la manipulation et la revente des données stockées lors de l'utilisation de tels services.

### **1.8.2 Spamming**

Une autre grande crainte des services de localisation est l'apparition d'une nouvelle forme de spam. En effet, des messages publicitaires non sollicités pourraient être envoyés de manière intempestive aux utilisateurs lorsqu'ils arrivent dans une certaine zone. Si on imagine que dans une galerie commerçante tous les magasins décident d'avertir les passants des promotions en cours, on comprend facilement qu'il faut imposer une certaine forme de limitation. Ce problème est assez compliqué à résoudre comme on peut le remarquer avec Internet. L'idéal serait probablement d'imposer « l'opt-in » c'est-à-dire l'autorisation préalable de l'utilisateur avant de lui envoyer un message (à l'exception de messages comme des avertissements d'incendie) [27].

Étudions maintenant les différentes méthodes de localisation existantes.

## **1.9 Les moyens de localisation outdoor**

Nous présentons ici les grands systèmes de positionnement présents sur le marché. Cette étude n'est pas exhaustive mais a pour but de souligner les avantages et les inconvénients des différents systèmes que nous allons décrire.

### **1.9.1 Les systèmes satellitaires**

La navigation par satellites a commencé à partir des années 1970. Trois systèmes satellitaires ont été explorés avant la mise en place du système GPS (Global Positioning System). Il y a eu le système U.S. Navy Navigation Satellite System aussi connu sous le nom de Transit, puis le système U.S. Navy's TIMATION (TIMenavigATION-1964) et enfin le projet U.S. Air Force 621B. Le programme TRANSIT a été le premier à utiliser les émissions continues d'ondes à partir de satellites. À l'origine il était prévu qu'il soit utilisé pour détecter la position des missiles, des sous-marins et autres navires. Son principal inconvénient est sa

lenteur d'acquisition. De plus ce système composé de sept satellites était insuffisant pour offrir un service de localisation sans interruption. Le système TRANSIT était donc inadapté à la localisation d'objets à grande mobilité comme les avions par exemple.

De son côté, le projet TIMATION a exploré l'utilisation des horloges atomiques afin d'améliorer la prédiction des orbites des satellites et de réduire le taux de rafraîchissement des corrections à apporter à partir des stations de contrôle terrestre. Pour cette expérimentation, seulement deux satellites ont été mis en orbite (le premier en 1967). Ces deux satellites du programme TIMATION ont été utilisés comme prototypes pour la mise en place du GPS [3].

Le système NAVSTAR GPS a vu le jour en décembre 1973. Les deux derniers systèmes présentés ont été développés de manière concurrentielle par l'US NAVY et par l'US AIR FORCE. Chacun de ces organismes a recherché à améliorer les performances de son propre système satellitaire. Le département de la défense Américain (Department Of Defense - DOD) a décidé d'unir les avantages des deux parties pour donner naissance au système actuel connu sous l'acronyme GPS.

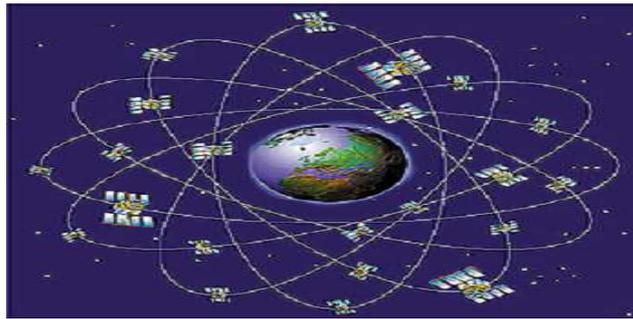
Aujourd'hui, c'est le DOD qui contrôle le système GPS et dispose du droit de dégrader les performances du système. Jusqu'en Mai 2000, sous la présidence de Clinton, deux systèmes GPS ont cohabité. L'un a été utilisé pour les applications militaires, et l'autre pour les applications civiles. Les performances de ces deux systèmes ne sont pas les mêmes. On comprend bien que les autorités militaires peuvent supprimer la disponibilité du service à tout moment. Toutes ces menaces qui peuvent paralyser un pays si le service de localisation n'est plus disponible ont conduit certains pays à mettre en place leur propre système de localisation. Les Soviétiques ont alors lancé un programme concurrent au GPS et qui se nomme GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System). Depuis, les Chinois essaient aussi de mettre en place leur propre système avec Beidou, et maintenant avec la mise en place de l'Union Européenne, GALILEO est disponible à partir de 2008.

Ces différents systèmes de navigation par satellites sont abordés par la suite afin d'étudier les performances atteignables par chacun de ces systèmes en terme de localisation.

### **1.9.1.1 Le système de navigation GPS**

Actuellement, le monde de la localisation en espace libre est dominé par le système GPS. La technologie comporte trois sous-ensembles: *le segment spatial* comportant les satellites, *le segment utilisateur* composé du système de réception et *le segment de contrôle*

qui assure la synchronisation entre les satellites. Le système comporte actuellement 24 *satellites* opérationnels, dont la configuration a été achevée en Décembre 1993. Les satellites sont équipés d'horloges très précises leur permettant de garder une synchronisation avec une dérive maximale de 3 ns. Pour avoir une visibilité d'au moins quatre satellites, nécessaires dans le procédé de localisation, à tout moment, partout dans le monde, la constellation comporte six plans orbitaux, chaque plan contenant quatre satellites. Les satellites se trouvent sur des trajectoires quasi-circulaires à une distance d'environ 20200 Km de la surface de la Terre.



*Fig1.2: Satellites du système de positionnement global GPS [5]*

Le système mesure le temps nécessaire à un signal pour se propager d'un point de l'espace à un autre. Comme, dans le cas général, la vitesse du signal est connue avec une précision relative, cette mesure peut être facilement convertie en distance. Pour trouver une position en trois dimensions, le signal d'au moins quatre satellites est nécessaire. Si les distances entre les quatre satellites et le récepteur sont calculés, l'intersection des sphères ayant comme rayon la distance entre trois satellites et le récepteur GPS conduit à estimer la position du récepteur. Le quatrième satellite est nécessaire pour prendre en compte les erreurs de synchronisation d'horloge et atteindre une meilleure précision au niveau du récepteur. Le système n'est pas bien adapté pour l'utilisation en milieu urbain (particulièrement en canyon urbain) car, dans ce type d'environnement il est difficile d'avoir la visibilité directe simultanément sur quatre satellites. Notons que la précision du système classique est de l'ordre de 20 mètres [1].

Le système GPS permet donc de se positionner sur la terre en fournissant à l'utilisateur des coordonnées. Celles-ci peuvent être de deux types [5]:

- soit les coordonnées géographiques WGS84 (c'est-à-dire longitude, latitude et hauteur ellipsoïdale -  $\lambda, \phi, h$ ) qui sont liées à ce référentiel géodésique.

- soit les coordonnées planes ou rectangulaires (X, Y) qui sont indissociables des systèmes de projection plane.

#### A. Les biais et les erreurs aléatoires du GPS [5]

##### a) Bruits des mesures

Les mesures de phases ou de pseudo distances sont réalisées par comparaison entre le signal venant du satellite et le signal généré par le récepteur. Le bruit de la mesure est estimé à mieux que 1% de la longueur d'onde du signal sur lequel se fait la mesure. Pour faire du positionnement précis, il faudrait mieux utiliser les mesures de phase. Ces mesures sont toujours utilisées en relatif, pour déterminer non plus les ambiguïtés entières mais des différences (ce qui est plus facile), et aussi cela permet de minimiser, voire de corriger, certaines erreurs.

##### b) Erreur dues aux mesures :

###### ➤ Erreur de propagation dans la troposphère<sup>1</sup>

La vitesse de l'onde dans la troposphère dépend de l'indice de l'air qui dépend lui-même des conditions météorologiques. L'effet est le même pour les deux fréquences GPS et intervient comme une correction à apporter. La correction troposphérique dépend du trajet suivi et dépend de l'élévation du satellite.

###### ➤ Erreur de propagation dans l'ionosphère<sup>2</sup>

La vitesse de propagation dans l'ionosphère dépend de la densité électronique à l'instant de la propagation et le long du trajet. L'ionosphère étant un milieu dispersif, la correction dépend de la fréquence de l'onde. La correction ionosphérique peut-être éliminée ou déterminée en utilisant des mesures sur les deux fréquences GPS L1 et L2.

---

<sup>1</sup> La troposphère est la partie de l'atmosphère située entre la surface terrestre et une altitude d'environ 8 à 15 kilomètres.

<sup>2</sup> L'ionosphère est une couche particulière de la Thermosphère. C'est la couche où ils gravitent les satellites artificiels et vaisseaux spatiaux. Cette couche est en permanence soumise au rayonnement ultraviolet, aux rayons X, aux particules solaires, et au rayonnement cosmique. Il en résulte une ionisation. L'ionosphère est un mélange de gaz neutre et de plasma. Les particules électriquement chargées sont soumises au champ magnétique de la Terre et circulent dans la magnétosphère.

c) **Erreurs dues aux satellites**

Deux types d'erreurs sont dus aux satellites. Le premier concerne la position du satellite qui est donnée par les orbites prédites. Ces orbites sont disponibles en temps réel par le message du satellite. L'autre type d'erreurs concernant les satellites est la correction d'horloge satellite. Cette correction pourrait être trouvée en temps réel dans le message diffusé par le satellite. Certains logiciels de calculs GPS procurent également cette correction.

d) **Erreurs dues à la station**

- **Correction d'horloge récepteur** : La correction d'horloge récepteur est toujours une inconnue qui est soit éliminée par double différence, soit estimée dans le calcul.
- **Les trajets multiples** : Ce phénomène est constaté lorsque le signal issu du satellite arrive au récepteur après avoir suivi un autre chemin que le chemin direct en particulier après réflexion sur un obstacle proche.
- **Sauts de coordonnées possibles** :

La précision des coordonnées fournies par GPS s'appuie sur une constellation satellitaire de bonne qualité, c'est-à-dire lorsque la répartition des satellites autour du récepteur est optimale, géométriquement parlant. L'écart entre les coordonnées fournies par GPS et les coordonnées réelles est totalement aléatoire et varie de façon assez régulière tant qu'il n'y a pas de modifications importantes dans la constellation utilisée. Lorsque certains satellites sont brusquement occultés par un obstacle, il peut y avoir des sauts de coordonnées importants qui sont en général, interprétés comme un déplacement.

*Aujourd'hui, le système GPS est contraint par plusieurs paramètres qui sont les suivants :*

- L'erreur quadratique moyenne sur l'estimation de la position doit être comprise entre 10 et 30m.
- La possibilité de localiser des objets se déplaçant très rapidement comme des avions par exemple.
- Une disponibilité du service sur tout le globe. L'inclinaison des plans orbitaux des satellites ont été choisis de manière à optimiser la qualité de la constellation au-dessus des

Etats -Unis. Par contre dans les zones polaires les satellites sont très bas sur l'horizon, ce qui rend le positionnement plus difficile.

- Les signaux transmis par les satellites doivent être robustes aux interférences intentionnelles comme non intentionnelles (point critique pour les applications militaires).
- Les récepteurs GPS ne doivent pas avoir besoin d'une horloge atomique pour avoir une localisation qui soit précise (problème du coût du terminal).
- Le "cold Start"<sup>3</sup> d'un récepteur doit être de quelques minutes et non pas de quelques heures.
- La taille de l'antenne de réception doit être relativement petite.
- L'atténuation en espace libre des signaux doit être raisonnablement petite.
- Une longue vie pour les satellites de la constellation [3].

Les performances du système GPS sont assez variées, car elles dépendent d'une part de la géométrie de la configuration de mesure, mais aussi de l'environnement dans lequel se trouve le récepteur GPS (visibilité directe avec les satellites, canyons urbains, etc.). La qualité des récepteurs GPS peut aussi limiter les performances du système.

### **B. Les avantages et les inconvénients du système GPS**

#### ➤ Les avantages :

- précision à long terme : la précision ne se dégrade pas en fonction du temps, il n'y a pas de dérive.
- position absolue : on obtient toujours une position absolue qui ne dépend pas des conditions initiales.
- Conditions opérationnelles : le système marche jour et nuit et n'a pas besoin de conditions spéciales telles que support, orientation ou température.
- Prix abordable : des récepteurs simples coûtent de moins en moins chers.

---

<sup>3</sup> Le terme « cold start » (démarrage à froid) décrit la performance d'un récepteur GPS à sa mise sous tension lorsqu'il n'y a aucune donnée de navigation disponible. Le démarrage à froid signifie que le récepteur n'a pas encore de données éphéméride de satellite, ni de position initiale, ni temps de référence. L'algorithme de recherche de démarrage à froid s'applique à l'antenne intelligente qui est mise sous tension sans alimentation de secours de mémoire. Souvent, l'antenne GPS ne possède aucune alimentation de secours externe, elle fonctionne toujours à partir d'un démarrage à froid. Ceci est l'état du module de l'antenne GPS lors de la livraison usine. Une antenne GPS réalise typiquement un démarrage à froid en moins de deux minutes.

➤ **Les inconvénients :**

Le GPS est un système américain sur lequel les utilisateurs non américains n'ont aucun contrôle et aucune garantie légale de bon fonctionnement.

- les trajets multiples : ceci se produit quand le signal du GPS est reflété par des objets tels que des grands bâtiments ou de grandes surfaces de roche avant qu'il atteigne le récepteur. Ceci augmente le temps de parcours du signal, auseant par conséquent une surévaluation du temps de vol et générant par conséquent des erreurs.
- Faible disponibilité : la précision dépend du nombre de satellites visibles par le récepteur (plus un récepteur GPS peut 'voir' de satellites, meilleure est la précision). Les conditions de visibilité sont souvent dégradées (les bâtiments, les tunnels, l'interférence électronique, ou parfois même le feuillage dense) ; ceci peut bloquer la réception du signal, entraînant des erreurs de position voir causant un arrêt temporaire du système. Typiquement, les unités du GPS ne fonctionneront pas dans des environnements d'intérieur.
- Géométrie des satellites/ombre : ceci se rapporte à la position relative des satellites selon l'instant d'observation. La géométrie satellitaire idéale existe quand les satellites sont situés à des angles relativement larges. On dispose d'une géométrie faible quand les satellites sont alignés ou en groupe serré.
- Exactitude variable : pour les mêmes raisons, l'exactitude des mesures de position peut varier considérablement. Tandis que sur une route en pleine campagne l'accès à disons 8 satellites peut donner une précision submétrique, les erreurs dans une ville avec ses « gorges de bâtiments » vont être de l'ordre d'une dizaine de mètres.
- Pas d'information d'orientation : a priori, un GPS ne détermine que la position, mais par le changement de la position on peut en déduire la vitesse et l'angle de lacet. Avec un ensemble d'antennes on pourrait même calculer les angles de roulis et de tangage, mais ces systèmes coûtent assez cher.
- Mauvaise précision en z : la précision sur l'axe vertical est facilement dégradée en cas de visibilité limité.

- Fréquence d'échantillonnage faible : pourvu que les conditions de réception soient suffisantes, la période d'échantillonnage est d'environ 100ms, alors ce qu'un INS peut fournir les données toutes les 10ms.
- Le retard de l'ionosphère et de la troposphère : le signal satellite ralentit pendant qu'il traverse l'atmosphère. Le système de GPS emploie un modèle intégré qui tient compte d'un retard moyen pour corriger partiellement ce type d'erreur.
- Dégradation intentionnelle du signal satellitaire : la disponibilité sélective (SA) est une dégradation intentionnelle du signal imposée par le département de défense des Etats-Unis. Elle a été prévue pour empêcher les adversaires militaires d'employer les signaux fortement précis du GPS.

Le gouvernement américain a arrêté la disponibilité sélective en mai 2000, qui a amélioré de manière significative l'exactitude des récepteurs civils du GPS. Bien qu'elle ait été supprimée en mai 2000, personne ne peut exclure définitivement la réintroduction de cette dégradation à un moment « jugé critique ».

### 1.9.1.2 Les améliorations du système GPS [1]

#### A. A-GPS (Assisted GPS)

Cette technique est conçue dans le but d'aider l'objet mobile à estimer sa position. Le procédé proposé rend possible la réception des signaux satellitaires même dans le cas où la valeur du signal reçu se situe en-dessous d'une valeur de seuil permettant, dans certains cas, l'estimation de la position à l'intérieur des bâtiments. La méthode est hybride ou coopérative et associe les standards de communication existants, tels que le GSM, GPRS, UMTS. Elle nécessite des circuits spécifiques au niveau du téléphone mobile lui permettant la réception des signaux GPS et un serveur de calcul au niveau du réseau. Ce dernier va traiter les données renvoyées par le mobile pour calculer sa position. La précision de cette technologie est de l'ordre de 10 mètres.

#### B. Le D-GPS (Differential GPS)

L'idée dans les techniques de positionnement différentiel est de corriger les erreurs à une position quelconque en prenant comme référence les erreurs mesurées à une position connue. Dans le cas du D-GPS, un récepteur de référence (Station de Base D-GPS) calcule les corrections pour chaque signal satellitaire reçu et renvoie les corrections à tous les récepteurs

présents dans sa zone de couverture. Cette information permet d'améliorer l'estimation de la position, l'erreur devenant désormais de l'ordre de 1 mètre.

### 1.9.1.3 Les alternatives au système GPS

#### A. GLONASS :

Le système GLONASS utilise 24 satellites s'évoluant sur 3 plans à une altitude de 19 100 kilomètres. Le programme GLONASS a débuté en 1982 et a été déclaré complètement opérationnel en 1993 par les autorités russes. Les difficultés financières qu'a connu l'Union Soviétique et la faible durée de vie des satellites (2 à 3 ans) ont entraîné une lente dégradation de la constellation.

Actuellement le système fonctionne en mode dégradé avec sept satellites opérationnels. Ce système est utilisé en géodésie en effectuant des mesures de phase.

Un programme de redéploiement du système GLONASS est en cours. De nouveaux satellites de type "GLONASS-M ", bénéficiant d'une durée de vie plus longue (7 à 8 ans) et de meilleures caractéristiques de transmission, vont être lancés prochainement.

Le système GLONASS n'est pas interopérable avec le système GPS mais le sera avec le futur système européen GALILEO.

L'intérêt de ce système de navigation réside en sa robustesse aux interférences. Chaque satellite émet sur sa propre fréquence (FDMA). Les satellites balaient une plus grande région du globe notamment les régions nord du fait des caractéristiques de la constellation de satellites et du plan d'inclinaison. Le principal défaut du système est qu'il n'est guère entretenu. L'entretien des satellites est très onéreux et du fait que les autorités russes manquent de moyens financiers, aujourd'hui seulement sept satellites sur les vingt-quatre sont opérationnels.

#### B. GALILEO

Après une longue période d'incertitude, le programme GALILEO voit le jour. Il est mené conjointement par l'Union Européenne et l'ESA (Agence Spatiale Européenne). Son but est de doter l'Europe d'une alternative civile fiable face au système de positionnement militaire américain, le GPS. De conception plus récente, GALILEO sera un peu plus perfectionné que le GPS et délivrera un message d'intégrité de l'information fournie.

GALILEO ne sera pas fondamentalement différent de GPS. Il utilisera une constellation de 30 satellites de 700 kg chacun, disposés sur trois plans inclinés à 56° par rapport à l'équateur et gravitant à 23 500 km d'altitude. Chaque rotation durera 14 heures environ. La constellation sera gérée par un réseau mondial de stations terrestres. Les satellites émettront sur plusieurs fréquences allant de 1164 à 1591 MHz, y compris certaines fréquences utilisées par le système GPS, comme la fréquence L1. La puissance d'émission sera de 50 Watts environ. Certains signaux émis seront réservés aux services commerciaux et aux services publics.

Parmi les services proposés par GALILEO, on trouve un "service ouvert" gratuit à l'usage du grand public. Ce service permettra un positionnement plus précis que celui proposé actuellement par le GPS, sans fournir toutefois de message d'intégrité. Dans le cadre de ce service ouvert, deux types de récepteurs verront le jour : des appareils mono fréquence économiques et des appareils hybrides plus précis combinant la réception des signaux GALILEO et GPS. Le programme EGNOS sera intégré au service GALILEO, ce qui permettra d'accroître les performances de ce dernier. La précision annoncée du service grand public de GALILEO est de "quelques mètres", qualificatif qui demande à être précisé.

Le calendrier du programme GALILEO passe par une phase de développement et de validation qui s'est étendue jusqu'en 2005, avec le lancement de deux satellites et la mise en place d'une infrastructure terrestre minimale. Ensuite vient la phase de déploiement qui doit être assez rapide (deux ans) car il est prévu de mettre en orbite jusqu'à huit satellites à chaque lancement.

Le système Galileo émettra dix signaux différents répartis de la manière suivante :

- ✓ '6' pour les services gratuits ;
- ✓ '2' pour les services commerciaux ;
- ✓ '2' pour le service public réglementé.

Les services prévus dans le cadre de GALILEO sont :

➤ le service ouvert (ou OS pour Open Service) : comme le service gratuit offert par le GPS, mais la précision est plus grande (de l'ordre d'un mètre). Aucune information d'intégrité n'est assurée. C'est ce service qui sera principalement utilisé par les particuliers ;

➤ le service commercial (ou CS pour Commercial Service) : le service est payant, la précision est améliorée par rapport au service ouvert, il est également possible de diffuser des

informations cryptées à l'aide de 2 signaux supplémentaires. Ce sont principalement les abonnements à ce service qui assureront le financement de Galileo ;

- le service de sécurité des personnes (SOL pour Safety Of Life service) : identique au service ouvert, mais avec la fourniture de l'information d'intégrité. Ce service sera utilisé pour toutes les applications où des vies humaines seront en danger si la qualité du signal s'affaiblit;
- le service public réglementé (ou PRS pour Public Regulated Service) : la fiabilité du service est améliorée. Ce service sera réservé aux administrations comme les pompiers, la protection civile ou encore la police. Il devra être disponible en tout temps, utilise deux signaux à part et dispose de plusieurs systèmes prévenant un brouillage ou un leurrage du signal;
- le service de recherche et secours (ou SAR pour Search And Rescue service) : destiné à la recherche des émetteurs d'alerte, possibilité d'avoir un accusé de réception sur une alerte. La réglementation et la définition des fonctions sont sous la charge de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) et de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) [3].

La localisation par les réseaux de satellites est très utilisée de nos jours, surtout avec la mise en place du réseau GPS. Depuis la suppression des dégradations S/A, l'intégration de puces GPS dans de plus en plus d'objets courants s'est intensifiée ces dernières années. Ceci permet de réduire les prix de production de ces chipsets. Le système GPS appartient à part entière aux États-Unis qui peuvent décider de dégrader les performances de ce système temporairement et/ou localement afin que d'autres utilisateurs ne bénéficient plus des meilleures performances. Le système GLONASS apparu au début des années 1980, et plus récemment, le système Galileo dont la mise en place se poursuit permettent aux différents utilisateurs de ces deux services de ne plus craindre cette menace de dégradation temporaire. L'augmentation du nombre de systèmes de navigation permettra d'améliorer les performances d'un système plus général qui utilisera chacune de ces constellations de satellites. Dans les années à venir, les terminaux pourront exploiter plusieurs systèmes GNSS. Dans certaines situations critiques, lorsque trois ou quatre satellites GPS sont en visibilité, le système qui captera aussi les signaux émis par le système Galileo délivrera une position plus précise.

Toutefois, un positionnement par satellite possède quelques faiblesses et *inconvenients* :

- ✓ La visibilité des satellites n'est pas toujours possible, au fond d'une vallée ou dans un bâtiment,
- ✓ La topologie des satellites n'est pas tout le temps optimal, perte de précision de position,
- ✓ L'ionosphère et le Troposphère perturbent les signaux radios,
- ✓ Les erreurs d'horloge atomique, cela arrive !
- ✓ les erreurs d'orbites,
- ✓ les erreurs intentionnelles, en cas de guerre ou par mesure de représailles sur une zone géographique donnée par exemple [2].

## **1.9.2 Les systèmes de localisation par réseaux terrestres**

### **1.9.2.1 Le système LORAN C**

Aujourd'hui, de nombreux réseaux cellulaires ou sans fil existent. Ces réseaux communiquent avec les équipements mobiles par radio. Le premier système de ce type est le système LORAN C dans les années 1960. Ensuite les réseaux comme le GSM et l'UMTS ou le réseau de TNT (Télédiffusion Numérique Terrestre) sont apparus pour relayer le système LORAN C.

LORAN C est basé sur la mesure de la différence de temps d'arrivée des ondes provenant de deux stations terrestres différentes. Le lieu géométrique représenté par cette différence de temps est une hyperbole (ligne de position (LOP) hyperbolique). Pour fonctionner, il est nécessaire de connaître la position de chacune des stations terrestres et les stations terrestres doivent être synchronisées entre elles (référence de temps commune) afin de comparer les instants d'arrivée des différents signaux. Dans le cadre de LORAN, il y a une des stations qui sert de référence à toutes les autres (la station maître, les autres stations sont dites esclaves).

L'opération de localisation se déroule de la manière suivante : le mobile calcule la différence de temps d'arrivée entre la station maître et une station esclave, ce qui fournit une LOP. Une seconde LOP est obtenue en mesurant une seconde différence de temps entre la station maître et une seconde station esclave. L'intersection de ces deux LOP conduit à la position du mobile.

Ce système relativement ancien souffre des dégradations dues aux conditions climatiques (effet électrique du temps) et aux particules ionisées de l'air (à l'aube et au crépuscule). Les multi-trajets perturbent aussi ces mesures. Normalement, c'est l'onde

terrestre qui est la plus importante (suivant la surface de la Terre). Cependant, la nuit, l'onde se réfléchissant sur l'ionosphère peut devenir prépondérante. Or cette onde est en retard par rapport à l'onde terrestre et introduit une erreur au niveau de la mesure de la différence de temps [3].

### 1.9.2.2 La localisation par la Télévision Numérique Terrestre

La télédiffusion numérique terrestre (TNT) est une bonne candidate pour la localisation. L'entreprise Américaine (ROSUM) a débuté des travaux sur l'évaluation des performances de la localisation par TNT. Le signal de télévision numérique, défini aux États-Unis suivant le standard American Television Standard Committee (ATSC), comporte des signaux de synchronisation utilisables en localisation. Dans les environnements difficiles, le niveau des signaux de télévision numérique est supérieur à ceux du GPS d'une quarantaine de décibels. Ces signaux de synchronisation ne subissent pas autant de perturbations que les signaux GPS. Enfin, les signaux TV sont à de faibles fréquences 470-870MHz. Leur propagation est bien adaptée aux environnements urbains.

*Les avantages de ce moyen de localisation par rapport au GPS sont :*

- Les signaux sont émis à partir d'antennes de position connue ;
- Les signaux émis sont dimensionnés pour qu'une antenne TV se trouvant à l'intérieur d'un bâtiment puisse les recevoir ;
- La distance séparant un récepteur d'un émetteur comprise entre 25 à 75km ;
- Le positionnement peut être effectué avec un seul des signaux TV parmi les nombreux signaux disponibles émis par une station de base ;
- La bande des signaux est de 6 à 8 M Hz et toute cette bande est disponible pour faire de la localisation. De ce fait, la précision temporelle est plus importante que celle du GPS.

Actuellement, le système proposé par ROSUM est intégré dans des terminaux mobiles comportant d'un côté un GPS et de l'autre un tuner TV numérique, afin de recevoir les signaux de télédiffusion numérique. Les précisions annoncées pour ce système de localisation vont de 3 à 25 m.

### 1.9.2.3 La localisation via les réseaux de téléphonie

Les précisions attendues de ces réseaux ne sont pas toujours suffisantes pour certaines applications comme notamment la localisation précise à la rue près pour des applications de sécurité des personnes (E911<sup>4</sup>).

#### A. La localisation par réseau GSM

Les applications de localisation à l'aide du réseau GSM sont apparues au début des années 2000 au Japon et aux États-Unis. L'exploitation du réseau GSM à des fins de localisation a été proposée.

Plusieurs techniques de localisation existent. On trouve des méthodes d'identification de la cellule dans laquelle se trouve le mobile (méthode de Cell-ID ou Cell Identification), puis des méthodes plus complexes basées sur des mesures temporelles (estimation de la distance entre chacune des stations de base et le mobile) comme TOA (Time Of Arrival) ou TDOA (Time difference Of Arrival). Enfin, l'utilisation des directions d'arrivée avec la méthode AOA (Angle Of Arrival) conduit aussi à l'identification de la position occupée par le mobile. Chacune de ces méthodes est développée par la suite car elles sont aussi proposées pour les réseaux de nouvelle génération de type UMTS. Il est nécessaire d'ajouter des éléments de synchronisation dans le réseau afin d'employer certaines des techniques de localisation citées précédemment. Dans le réseau GSM tel qu'il était prévu initialement, les stations de base ne sont pas synchronisées entre elles, or les méthodes de localisation temporelles nécessitent que les stations de base soient synchrones. Des éléments notés LMU (Location Measurement Unit) sont installés pour fournir une synchronisation entre ces différentes stations de base. Ce type de réseau n'est pas nécessairement adapté pour les applications actuelles recherchant parfois une localisation à quelques mètres près. Dans certains environnements, comme en rural, très peu de stations de base sont disponibles. Ceci rend très difficile une localisation très précise. Si une seule station de base est disponible, la meilleure localisation que l'on peut attendre, est celle à la cellule ou voir au secteur lié à cette station de base. Afin de répondre à ces situations, de nouveaux réseaux sont nécessaires [3].

---

<sup>4</sup>L'E911 est une version améliorée du système 911 utilisé aux États-Unis pour les appels d'urgence de la police, les pompiers et les services d'ambulance. Les appels au 911 sont acheminés vers un point d'accès de la sécurité publique (PSAP). E911 identifie l'emplacement de l'appelant, achemine l'appel au PSAP local approprié, et fournit le PSAP avec des informations de localisation afin d'une réponse rapide.

L'UMTS offre des performances supérieures en qualité de transmission d'informations (débits supérieurs), mais aussi en termes de localisation car ce service fait partie intégrante de la norme associée aux réseaux de troisième génération.

### ***B. La localisation par le réseau UMTS***

Depuis fin 2004, les opérateurs commencent à proposer à leurs clients en France un service de téléphonie de troisième génération ou UMTS. Des fonctionnalités de localisation sont prévues dans la norme UMTS comme présenté par le 3GPP. Cependant, le type de service de géolocalisation pour l'utilisateur n'est pas imposé dans les spécifications techniques de l'UMTS. Le 3GPP définit un ensemble de méthodes permettant d'estimer la position géographique du terminal à l'aide de l'infrastructure du réseau. Les services de localisation dans la terminologie du 3GPP sont désignés par le sigle LCS pour LoCation Services. Contrairement au réseau GSM, la notion de localisation est prévue dans ce standard. La structure du réseau mise en place comporte obligatoirement des éléments permettant d'effectuer ces opérations de localisation. [3].

*Les éléments du réseau participant à la localisation sont :*

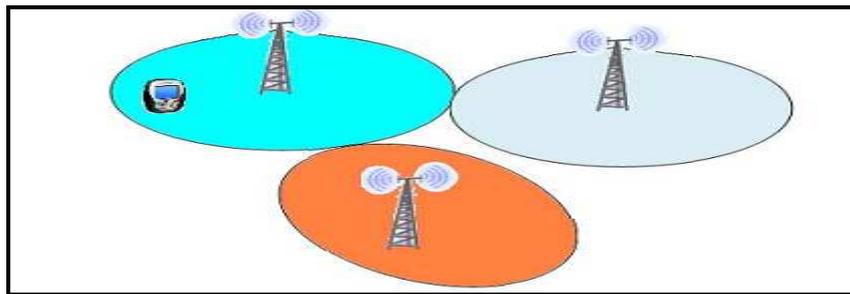
- Le centre de localisation du mobile (SRNC-Serving Radio Network Controller) qui a la charge d'estimer la position de l'UE, c'est à dire ses coordonnées géographiques en deux ou trois dimensions.
- Le routeur du centre de localisation du mobile (GMLC- Gateway Mobile Location Center) représente le nœud d'entrée au PLMN (Public Land Mobile Network) qui fournit le service d'estimation de la position des terminaux. En collaboration avec le HLR (Home Location Register), il effectue les tâches d'autorisation et d'authentification des serveurs externes qui sollicitent des informations liées à la position géographique de l'abonné. Les serveurs externes à l'origine de ces requêtes sont appelés "clients LCS". Le GMLC est aussi chargé de transmettre aux éléments du réseau concernés la QoS (Quality Of Service) requise par le client LCS. En fonction de la QoS, le SMLC choisit la technique la plus adaptée parmi celles supportées par le réseau et suivant les capacités matérielles et logicielles de l'UE.
- L'unité de prélèvement de mesures de localisation (Location Measurement Unit ou LMU) sert de support au SMLC en effectuant les mesures radio requises par la technique de localisation mise en œuvre. Ces mesures concernent principalement les paramètres RTD

(Round Time Différence) et RTT (Round Time Trip) présentés par la suite lors de la description des méthodes de localisation associées à ce type de réseaux [3].

Ceci permet d'avoir une vue d'ensemble sur la configuration des entités fonctionnelles impliquées dans l'offre de service de géolocalisation dans les réseaux GSM et UMTS. Cependant, il est nécessaire d'associer des techniques de localisation permettant de prédire la position d'un équipement mobile en fonction des données mesurées disponibles.

#### a) La localisation à la cellule ou "Cell ID"

La méthode la plus simple de localisation cellulaire est basée sur l'identification de la cellule dans laquelle se trouve l'objet mobile. Cette méthode est la moins onéreuse à mettre en place car elle est compatible avec tous les terminaux existants. Elle ne nécessite que l'émission d'un signal aller-retour de signalisation avec l'utilisateur. Le temps de calcul de la position est très court. Il s'agit seulement du temps de recherche dans la base de données de la position à partir de l'identifiant de la cellule.



*Fig1.3: Principe de la méthode Cell-ID [1]*

Cette méthode, connue sous le nom de Cell-ID et dont le principe est donné dans la Figure 1.3, consiste à identifier au niveau du réseau la cellule dans laquelle l'objet mobile se trouve et lui transmettre la position connue de la station de base qui dessert la cellule. Un avantage de cette méthode est représenté par le fait qu'aucun calcul n'est utilisé pour déterminer la position, la méthode est ainsi très rapide. L'inconvénient majeur est lié au fait que la précision de cette technique est directement proportionnelle à la dimension de chaque cellule qui peut varier entre 2 et 20 km, en fonction de la densité des obstacles présents dans l'environnement et le nombre d'utilisateurs desservis.

#### La méthode E-OTD (Enhanced - Observed Time Difference)

Développée par Cambridge Position System, opère dans les réseaux GSM et GPRS. Le téléphone mobile envoie un signal aux stations de base se situant à proximité de celui-ci,

la station la plus proche renvoie un signal réponse qui est analysé par un serveur dédié pour déterminer la position du mobile dans la zone couverte par la station de base. L'objet mobile doit être équipé avec des circuits spécifiques. Le temps nécessaire pour effectuer la localisation de l'objet mobile est d'environ 5 secondes et la précision est de 30-50 mètres. L'inconvénient de la technologie est lié à sa sensibilité aux trajets multiples, de plus elle augmente fortement le trafic du réseau [1].

b) **La méthode O-TDOA (Observed Time Difference of Arrival)** :

Cette méthode est spécifique aux réseaux UMTS et nécessite la réception au niveau de l'objet mobile des signaux provenant d'au moins trois stations de base. La position de l'objet mobile est donnée par l'intersection d'au moins deux hyperboles résultant de la différence des retards des signaux, encodés dans les trames UMTS, provenant des stations de base prises par deux [1].

c) **La méthode U-TDOA (Uplink Time Difference of Arrival)** : Développée par TruePosition, compare les temps d'arrivée au niveau des stations de base des signaux transmis par l'objet mobile. Aucune modification n'est nécessaire au niveau de l'équipement mobile. La précision de la méthode dépend du nombre de stations de base disponibles et de leur densité [1]. Ils existent aussi des méthodes qui utilisent *la puissance du signal* reçu ou des *méthodes géométriques*. Ces méthodes seront décrites dans le cas de la localisation indoor (intra bâtiment).

Toutes ces techniques ont de bons résultats dans le cas où l'objet mobile se trouve en visibilité directe avec la/les stations de base. Dans le cas où les mobiles ne se trouvent pas en visibilité directe, l'estimation de leur position est fortement dégradée. La précision est très sensible aux conditions de propagation du signal et les phénomènes tels que la dispersion, la diffraction et les trajets multiples vont introduire des erreurs. Ces conditions de propagations sont à l'image du canal intra bâtiment, et limitent en conséquence l'utilisation des techniques mentionnées auparavant dans ce type d'environnement. Les systèmes ayant transposés ces techniques en environnement indoor ont montré des précisions de localisation médiocre.

### 1.9.3 La navigation par mesures inertielles

Une solution possible, pour remédier aux problèmes du GPS, est l'utilisation des systèmes de navigation inertielle (Inertiel Navigation System : INS) qui donnent la position du nœud mobile en utilisant des algorithmes de navigation à l'estime (Dead Reckoning : DR)

sur la base de conditions initiales. Ce type de navigation est réalisé en utilisant les signaux issus des capteurs de mouvements. Le INS utilise des accéléromètres, pour le calcul de la distance parcourue, et des gyroscopes (ou boussoles magnétiques) pour la détermination de la direction. Le INS peut éventuellement utiliser un pedomètre et un altimètre. La figure (Fig. 1.4) illustre un exemple de trajectoire estimée d'un mobile à partir des capteurs de navigation.

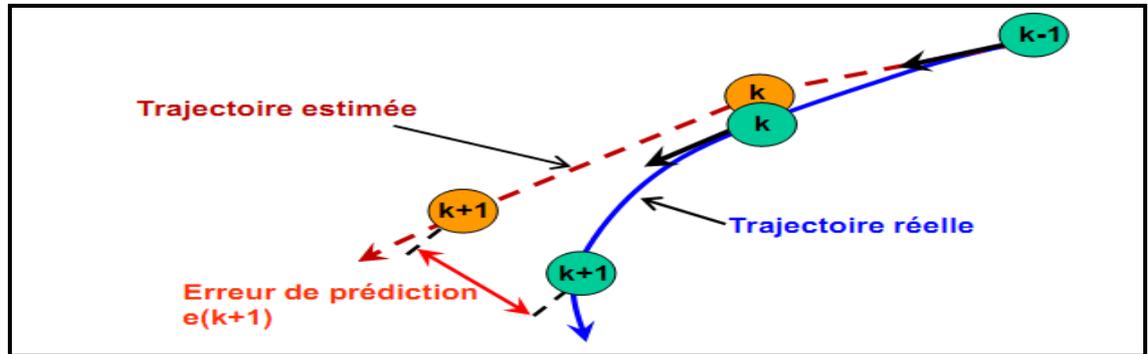


Figure 1.4 : Calcul de la trajectoire d'un mobile. [7]

Un principe de navigation à l'estime : L'un des principes de calcul de la trajectoire estimée repose sur la prédiction de la position future  $P_{k+1}$  à partir de la position actuelle  $P_k$ . Par exemple, nous pouvons prédire cette position selon le principe suivant :  $P_{k+1} = P_k + U_k \Delta$  : où  $U_k$  est la vitesse du mobile à l'instant  $k$ , et  $\Delta$  est le pas d'échantillonnage [7].

#### 1.9.4 ARGOS

Le système ARGOS est un autre système de localisation par satellites dont le but est différent : la balise ne sachant qu'émettre des signaux radio, les porteurs des balises ARGOS ne pourront en aucun cas connaître leur position. Seul le serveur central est apte et capable d'estimer la position d'un signal ARGOS reçu.

ARGOS est composé de trois satellites, d'antennes relais terrestres, d'un centre de commande et enfin d'environ 7000 balises. On trouve l'utilité d'un tel système dans l'étude océanographique (57%), suivit d'animaux (19%), la pêche (3%), le transport de matières dangereuses (5%), de raids, aventures et courses océaniques [2].

#### 1.9.5 A.R.V.A

L'Appareil de Recherche de Victimes d'Avalanche (A.R.V.A) est destiné, comme son nom l'indique, à localiser les personnes ensevelies sous une avalanche. L'émetteur que le skieur porte sert de point de référence aux secouristes qui déterminent sa position en fonction

de la puissance et de l'angle d'arrivée du signal. La position est donc relative voire symbolique [2].

Cette section a présenté les différents réseaux terrestres comme ceux du GSM et de l'UMTS dans un but de localisation d'un équipement mobile. Les performances sont généralement de quelques dizaines de mètres au minimum, et peuvent aller jusqu'à plusieurs kilomètres. Certaines techniques de localisation ne peuvent pas être mises en place simplement sur certains réseaux, soit parce que le service de localisation n'était pas prévu lors de l'élaboration du standard, soit parce que la mise en œuvre de ce service nécessite un investissement important.

Certains environnements restent toujours difficiles à couvrir, notamment les espaces confinés (indoor, urbain). La forte dégradation des signaux réduit la précision. Les environnements indoor nécessitent une précision de l'ordre de quelques mètres pour localiser un équipement mobile dans une pièce notamment. Pour les systèmes précédents, la précision dans ces types d'environnements est généralement de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres. Il est nécessaire de dimensionner des solutions spécifiques à ces environnements indoor. Sur des échelles plus petites, de l'ordre du bâtiment ou d'un étage, il est possible d'identifier des technologies de communication dont l'usage peut être détourné afin de fournir une information de localisation.

La section suivante présente ces technologies déployées dans des environnements indoor avec leurs caractéristiques en termes de déploiement et leurs performances en localisation.

### ***1.10 Les moyens de localisation indoor***

La plupart des procédés employés pour déterminer une position sont basés sur des calculs géométriques comme la triangulation (en mesurant des angles par rapport à des points fixes ou des nœuds connaissant leur position) et la trilatération (en mesurant la distance entre les nœuds). Pour connaître la distance entre deux nœuds, plusieurs techniques peuvent être utilisées, comme la synchronisation, la puissance du signal reçu, et les caractéristiques physiques de l'onde porteuse. D'autres approches, comme les caractéristiques du signal radio reçu et l'angle de l'arrivée peuvent également être appliquées pour le calcul de position. Nous présentons ici certaines de ces méthodes.

### 1.10.1 Techniques géométriques d'estimation de position

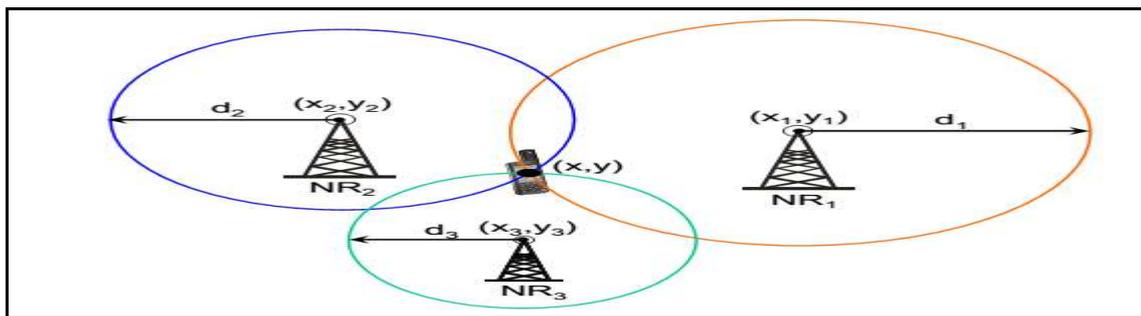
Considérons un nœud A désirant estimer sa position et 3 nœuds N1, N2 et N3 des nœuds de références (nœuds connaissant leur position)

Pour estimer sa position, sont nécessaires :

- Des points de référence (N1, N2 et N3),
- Des méthodes géométriques pour tirer parti de ces informations.

Deux grandes classes de méthodes géométriques sont à notre disposition :

A. **la trilatération** : La trilatération est une méthode de localisation relative d'un objet en utilisant les distances entre un minimum de trois nœuds de référence (NR) pour une localisation en deux dimensions (2-D). La figure suivante (Fig 1.5) illustre le principe de la localisation par trilatération. En effet, soient  $(x_i, y_i)$  les coordonnées cartésiennes du  $i^{\text{ème}}$  NR et  $(x, y)$  les coordonnées de l'objet à localiser ou nœud mobile (NM).



*Fig.1.5 Estimation de position par trilatération.* [7]

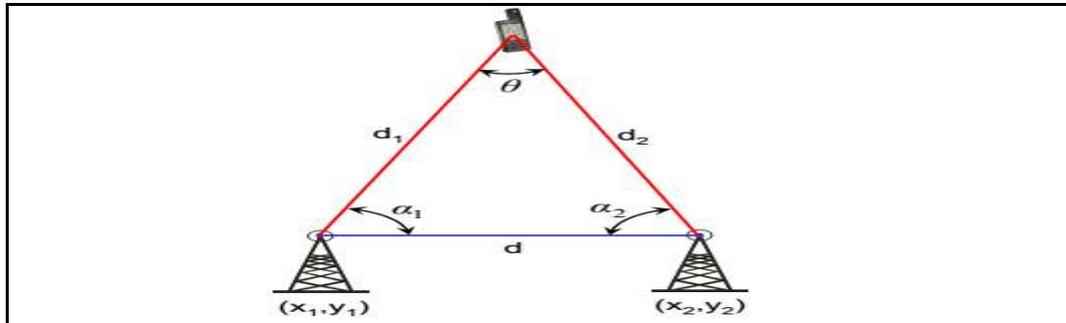
La position de cet objet est obtenue par le point d'intersection des trois cercles de centre NR1, NR2 et NR3 ayant respectivement les rayons  $d_1$ ,  $d_2$  et  $d_3$ . Plus précisément, cette position peut être déterminée par la résolution du système d'équations suivant [7]:

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = d_3^2 \end{cases}$$

B. **la triangulation** : La méthode de triangulation est basée sur la mesure de deux angles d'un triangle et de l'un des cotés de ce triangle comme indiqué dans la figure (Fig.1.6). En

utilisant les propriétés géométriques du triangle, il est possible de montrer que la position

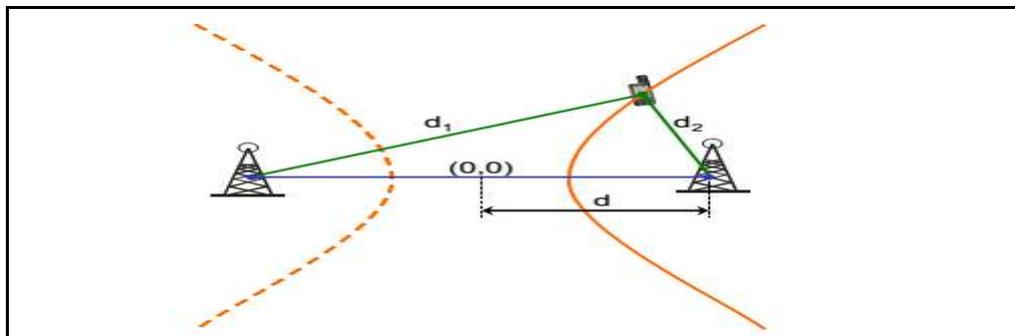
de l'objet peut être obtenue comme suit :

$$\begin{cases} d^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos(\theta) \\ x = x_1 + d_1 \cos(\alpha_1) \\ y = y_1 + d_1 \sin(\alpha_1) \end{cases}$$


*Fig1.6: Estimation de position par triangulation. [7]*

Contrairement à la trilatération, l'avantage de la triangulation est qu'elle ne nécessite que deux NR pour une localisation en 2D.

**C. Méthode des hyperboles:** Cette méthode repose sur la différence entre les distances de l'objet à localiser aux deux NR comme indiqué dans la figure 1.7.



*Fig1.7: Méthode des hyperboles [7].*

En effet, la différence entre les distances  $d_1$  et  $d_2$  :

$$\Delta d = d_1 - d_2 = \sqrt{(x+d)^2 + y^2} - \sqrt{(x-d)^2 + y^2}$$

permet, après quelques développements mathématiques, d'aboutir à l'équation d'une hyperbole à partir de laquelle la position de l'objet est déterminée [7] :

$$\frac{x^2}{\left(\frac{\Delta d^2}{4}\right)} - \frac{y^2}{\left(\frac{4d^2 - \Delta d^2}{4}\right)} = 1$$

### 1.10.2 Timing

La distance entre les nœuds peut être évaluée à partir du temps de propagation d'un signal ou d'un paquet. Deux approches principales peuvent être définies pour ces méthodes : l'heure d'arrivée (TOA) et la différence de temps d'arrivée (TDOA).

#### A. Heure d'arrivée - Time of Arrival (TOA)

Quand des nœuds sont synchronisés, un seul paquet allé simple est nécessaire (si l'environnement radio n'est pas trop perturbé) pour connaître le temps de propagation et estimer la distance entre les nœuds. Le système GPS emploie cette méthode pour fournir des informations de position aux utilisateurs. Toutefois, si des nœuds ne sont pas synchronisés, deux paquets doivent être utilisés pour estimer le temps aller-retour du signal entre les nœuds. Pin-Point's Local Positioning System (LPS) [1], les radars civils et militaires ou encore GPS-free [29] utilisent cette approche. Les méthodes de localisation basées sur UWB (Ultra Wide Band) utilisent elles aussi le TOA [3].

##### ➤ *Avantage :*

- Paramètres généralement bien estimés ;
- Algorithme de positionnement simple ;
- Précision plus élevée en milieu confiné.

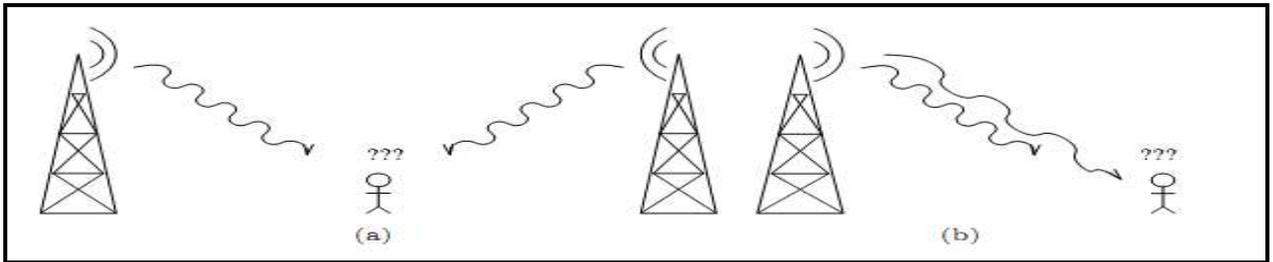
##### ➤ *Inconvénients*

- Synchronisation d'horloge nécessaire entre le mobile et les stations de base;
- Nécessité d'avoir le trajet direct ;
- Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur.

#### B. Différence de Temps d'Arrivée - Time Difference of Arrival (TDOA)

Une deuxième approche consiste à évaluer la différence des temps d'arrivée de deux différents signaux. Ces signaux peuvent provenir de deux nœuds de référence distincts (Fig. 1.8(a)) ou peuvent être de natures différentes, comme les ultrasons et les signaux radio qui peuvent être émis par une même source (Fig. 1.8(b)). Plusieurs articles traitent de cette thématique comme dans l'approche Active Bat. Néanmoins, les ultrasons ne peuvent être utilisés qu'à l'intérieur d'un bâtiment, une pièce, un hall, en raison de leurs limitations physiques comme le rayon de propagation réduit, le faible pouvoir pénétrateur des obstacles

et la faible résistance aux interférences provenant d'autres sources d'ultrasons. Ceci limite grandement le cadre d'utilisation d'une telle technologie [2].



*Fig. 1.8 : Temps différentiel d'arrivée.* [2]

➤ **Avantage :**

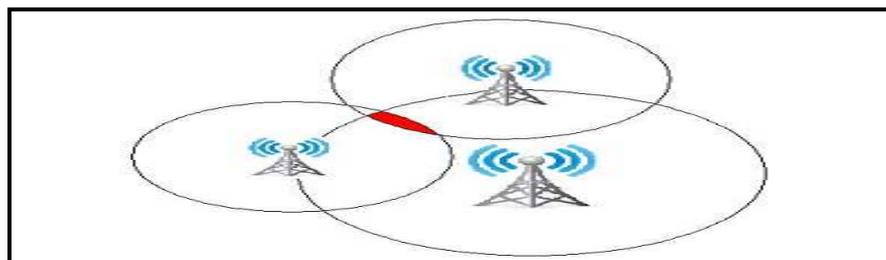
- Paramètres généralement bien estimés ;
- Algorithme de positionnement simple ;
- Précision plus élevée en milieu confiné ;
- Pas besoin de synchronisation d'horloge entre le mobile et les stations de base.

➤ **Inconvénients :**

- Nécessité d'avoir le trajet direct ;
- Synchronisation d'horloge nécessaire entre les paires de stations de base ;
- Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur.

### 1.10.3 Received Signal Strength (RSS)

La distance entre l'émetteur et le récepteur peut être évaluée à partir de la puissance du signal reçu associée à un modèle de propagation dans l'environnement. Trois récepteurs sont nécessaires pour déterminer la position en 2D. Les puissances sont mesurées au niveau d'au moins trois points de référence, chaque point représentant le centre d'un cercle. La zone possible pour la position de l'objet mobile est déduite par trilatération, procédé décrit dans un paragraphe ultérieur [1].



*Fig1.9: Principe de l'utilisation des RSS.* [1]

Cette technique est facilement applicable dans le cas des réseaux cellulaires et WLAN, la puissance du signal reçu étant disponible au niveau des récepteurs et de l'émetteur. La validité du modèle de propagation correspondant à l'environnement de travail joue un rôle très important dans la précision de la localisation. La superposition des trajets multiples produit des évanouissements pour lesquels il est très difficile de donner un modèle général. En fonction de la configuration de l'environnement, les multi-trajets conduisent à des variations du niveau du signal qui peuvent atteindre 15-25 dB sur une distance de l'ordre d'une fraction de longueur d'onde. Ces variations aléatoires engendrent des erreurs très importantes sur l'estimation de la distance. Une possibilité d'améliorer les résultats consiste à moyennner les mesures dans le temps ou en fréquence. La mesure des puissances peut être également associée à des techniques de cartographie (signatures ou empreintes) [1].

➤ **Avantage :**

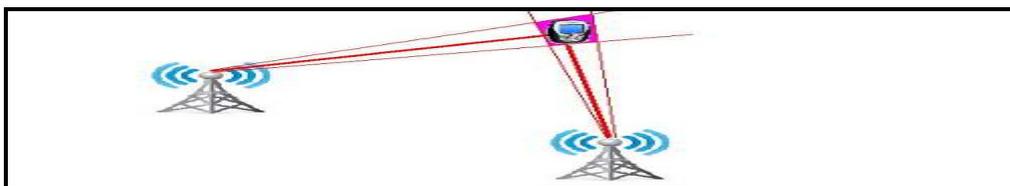
- Coût d'implantation peu élevé ;
- Disponibilité des modèles mathématiques d'atténuation ;
- Algorithme de positionnement simple.

➤ **Inconvénients :**

- Nécessité d'avoir le trajet direct ;
- Précision faible ;
- Performance mauvaise dans un canal ayant un profil de propagation par trajets multiples sévère.

#### 1.10.4 Angle Of Arrival (AOA)

Cette technique est basée sur l'exploitation des angles d'incidence des signaux émis par l'objet mobile au niveau d'au moins deux points de réception. Cette technique est illustrée dans la Figure 1.10. L'estimation des angles d'arrivée se fait à l'aide des antennes directives ou des réseaux d'antennes utilisées conjointement avec des méthodes à haute résolution. La position de l'émetteur est donnée par l'intersection des droites passant par chaque récepteur et d'angle, les AOA calculés par rapport à une référence arbitraire.



*Fig1.10: Localisation exploitant les AOA. [1]*

Souvent une marge d'erreur d'estimation de la DOA est introduite, conduisant à l'intersection des faisceaux, qui définit une zone possible de la position de l'émetteur. La dimension de chaque faisceau augmente avec la distance par rapport à l'émetteur conduisant à des erreurs plus importantes. Dans le cas où l'émetteur se trouve sur la ligne qui réunit les deux récepteurs, l'estimation de la position n'est plus possible. La présence d'un récepteur supplémentaire est nécessaire. L'inconvénient majeur de cette technique est lié à la nécessité de disposer de réseaux d'antennes qui augmentent la taille des équipements utilisés et qui impliquent des coûts supplémentaires. De plus, en environnement NLOS en présence des trajets multiples, la précision de l'estimation est fortement affectée [1].

➤ **Avantage :**

- Moins de stations de base fixes nécessaires ;
- Algorithme de positionnement simple.

➤ **Inconvénients :**

- Nécessité d'avoir le trajet direct ;
- Coût d'implantation élevé ;
- Précision faible ;
- Performance mauvaise dans un canal ayant un profil de propagation par trajets multiples sévère.

### 1.10.5 La localisation par ultrason

Les systèmes à ultrason sont utilisés pour déterminer la position d'un mobile. La plupart des systèmes de localisation par ultrason sont combinés avec une autre technologie afin d'obtenir une estimation de la distance émetteur/récepteur. Dans le système Cricket, les informations provenant d'une interface ultrason sont combinées avec celles provenant d'une interface RF. Cette combinaison permet d'estimer la distance émetteur/récepteur puis la position occupée par le mobile. Des émetteurs sont placés au plafond du bâtiment et émettent des signaux RF contenant des informations de localisation.

En même temps que ces signaux RF sont émis, une onde ultrasonore est émise à partir de ce même émetteur. Le récepteur reçoit successivement l'onde RF et l'onde ultrasonore. Il effectue une corrélation de ces deux signaux reçus pour extraire la différence des temps d'arrivée entre chacune de ces ondes. Ceci permet d'estimer la distance le séparant de l'émetteur qui a émis ces deux signaux. En répétant cette même mesure avec plusieurs émetteurs, on détermine précisément la position du mobile (ici le récepteur) dans l'environnement. Ceci est basé sur le fait que l'onde sonore, et l'onde radio possèdent des

vitesses de propagation différentes. Le récepteur mesure la différence de temps existante entre les instants d'arrivée de ces deux ondes au niveau du récepteur.

Cette technique mesure la distance séparant un émetteur d'un récepteur. Un certain nombre de traitements est nécessaire car les objets se trouvent dans des environnements générant beaucoup de multi-trajets et la situation de visibilité directe (LOS - Line Of Sight) n'est pas toujours garantie. Dans une situation de non visibilité directe (NLOS - Non Line Of Sight), le trajet le plus fort au niveau des réponses impulsionnelles n'est pas le trajet le plus court. Il est nécessaire de mettre en place des algorithmes pour estimer cet instant d'arrivée du premier trajet afin de minimiser les erreurs sur l'estimation de la distance émetteur/récepteur.

Dans le système Active Bat, dès qu'un émetteur est détecté, le contrôleur général (Master qui se trouve sur le réseau) envoie un signal RF à l'équipement mobile (Bat). Le Bat transmet alors une série d'impulsions ultrasonores.

Toutes les 200 ms, un message radio, contenant uniquement les 16 bit d'adressage d'un des tags, est émis par un contrôleur relié à un PC. Le PC décide de l'adresse qui doit émettre. Les équipements mobile reçoivent ce message et le décodent. Le mobile qui reconnaît son adresse dans le message reçu passe dans un mode d'émission et émet un message par ultrason durant 50  $\mu$ s. Une fois la série de pulses émise, le tag se remet en mode économie d'énergie, et scrute le canal 195  $\mu$ s plus tard.

Le PC servant de centre nerveux au système de récepteurs situés au plafond émet vers chacun des récepteurs via la liaison série un signal de reset lorsqu'il émet en même temps que le signal RF à destination des tags à localiser. Durant 20 ms à partir de ce moment, le dispositif électronique associé à chacun des récepteurs cherche à détecter un signal ultrason. De multiples détections se produisent à cause des multi-trajets. Ensuite, le PC central interroge chacun des récepteurs composant le réseau en récupérant les intervalles de temps entre le signal de reset et celui de la détection du pic de signal ultrason. La position du tag est obtenue par trilatération [3].

### **1.10.6 La localisation par infrarouge**

Le système Active Badge est l'un des premiers systèmes de localisation. AT&T l'a élaboré entre 1989 et 1992. Ce système exploite la technologie infrarouge. Le mobile à localiser est équipé d'un tag infrarouge émettant un signal infrarouge toutes les 10 secondes. Les récepteurs sont installés au plafond dans chaque pièce de l'environnement. Ces récepteurs sont reliés entre eux pour former un réseau permettant de détecter le tag actif. Comme dans le

système Active Bat/Cricket, le système infrarouge émet une série de pulses. Cette technologie a été retenue à cette période car elle est peu coûteuse. De plus, la portée des capteurs utilisés est de 6 m. Pour des utilisations dans de petites pièces, de nombreuses réflexions sont présentes et facilitent la détection. Le désavantage par rapport aux technologies radio, c'est que les signaux ne traversent pas les murs, ce qui réduit la portée du système.

Les émissions infrarouge se font toutes les 15 s (durant 0.1 s) afin d'économiser l'énergie, mais aussi pour permettre à plusieurs tags d'être localisés et éviter ainsi les problèmes d'interférence. Une période de répétition de 15 s est rédhibitoire, car en 15 s une personne peut effectuer un déplacement important. Pour des environnements indoor, ceci n'est pas totalement justifié, et lors de l'exploitation du système, une bonne précision a été obtenue. La présence de la lumière du jour est un frein au développement de cette technologie car cette lumière perturbe la transmission infrarouge entre l'émetteur et le récepteur. Ainsi cette technique de localisation est orientée vers une détection de présence du mobile dans l'environnement (ou une de ses parties). On parle de localisation par zone. On retrouvera ce même type d'information binaire lors de l'exploitation des données remontant de capteurs RFID (Radio Frequency Identifier) [3].

### **1.10.7 La localisation par vidéo**

La vidéo et les dispositifs recevant des images d'une scène permettent d'effectuer d'une part une détection de la présence d'un élément dans une scène, mais aussi de localiser cet élément dans la scène. La localisation est effectuée grâce à des transformations entre l'image de la scène et les angles de vues de la caméra. Une utilisation possible de cette technique est de détecter les intrusions dans une zone. Grâce aux techniques de reconnaissance de contours, un objet est repérable sur une image. Il est possible de suivre le déplacement de ce contour tant qu'il reste dans le champ de vision de la caméra. Ce système est aussi utilisé en robotique. Les nouveaux robots arrivant sur le marché commencent à gagner en autonomie grâce aux systèmes de vision. Ces robots peuvent se repérer dans l'espace et donc se déplacer. Cette technique possède comme faiblesse la portée limitée du système. Dans les environnements indoor, la portée se trouve restreinte à une seule pièce (emplacement de la caméra). Des problèmes d'identification se posent. Ce problème n'est pas négligeable car les applications requièrent, en plus de la position d'un mobile, un identifiant permettant de distinguer un mobile par rapport aux autres. Or avec cette technologie, différencier deux objets mobiles n'est pas simple. Lorsque deux objets se croisent et sont assez proches, l'un des objets masque l'autre pendant un bref instant. Ce masquage est

suffisant pour que le système de détection par vidéo conclue qu'il n'y a qu'un seul objet dans la scène. Si un instant suivant, ces deux objets se séparent, ces deux cibles sont vues comme de nouvelles cibles pour le dispositif par vidéo. Le problème du système est de déterminer quel était le nom affecté à chacune des cibles précédentes et de redonner à chacune le bon nom suite à cet événement de fusion/séparation.

### **1.10.8 La localisation par mesure de champ magnétique (boucles dans le sol)**

L'exploitation d'un réseau de capteurs, émettant un champ magnétique par l'intermédiaire de rails présents dans le sol, a été explorée. À l'origine, ces systèmes étaient prévus pour le guidage d'objets dans des entrepôts, où des robots effectuaient de nombreux parcours pour aller rechercher des pièces.

Les autres domaines d'application sont la réalité augmentée (augmented reality) et la capture de mouvements (enregistrement des mouvements effectués par une personne afin de les réintroduire dans une séance cinématographique). Le système a besoin que des émetteurs se trouvent à des emplacements connus à travers le bâtiment. Chacun de ces éléments émet un champ magnétique en permanence. Une séquence PN (Pseudo Noise) rythme les émissions en changeant la polarité du signal émis. Cette séquence PN distingue les éléments entre eux. Le mobile qui se déplace dans le bâtiment capte successivement différents signaux, et donc champs magnétiques. À l'aide d'un système basé sur la corrélation, le récepteur détermine la puissance du signal en provenance de chacun des émetteurs. Cette information de puissance du signal est utilisée pour déterminer la position occupée par le mobile [3].

### **1.10.9 La localisation par mesure de phase des composantes du champ électromagnétique**

L'exploitation de la phase des signaux permet d'obtenir des informations sur la distance séparant un point de l'espace du point d'émission. L'idée est d'exploiter la phase de l'onde pour se localiser. Les ondes de la bande radio AM sont utilisées. Dans cette bande, les ondes possèdent de bonnes propriétés de propagation, et se transmettent bien à l'intérieur des bâtiments, ce qui est le talon d'Achille du GPS.

Pour lever l'ambiguïté de phase, l'idée est de travailler en relatif par rapport à une référence dont on connaît la phase. Pour que la technique reste valable, il est nécessaire que la distance séparant le récepteur de cette référence soit inférieure à la longueur d'onde du signal.

L'utilisation des signaux AM se prête bien à ces conditions car leur longueur d'onde est souvent élevée ( $\lambda = 150$  m) pour un signal dont la porteuse est à 2 MHz. Or les bâtiments font rarement de telles tailles en longueur ou largeur, ce qui rend intéressant l'utilisation de ce système en localisation indoor. Il suffit de déployer un réseau de stations de référence autour du bâtiment et ensuite on se localise à l'intérieur grâce aux ondes longues.

La connaissance de la distance séparant le récepteur d'une antenne de référence est alors possible. La mise en place de ce système n'est pas toujours simple, car il faut mesurer précisément la phase d'un signal. Cette opération peut être relativement délicate à mettre en œuvre au niveau d'un récepteur matériel. Une autre manière pour déterminer la distance émetteur/récepteur au moyen de la phase d'une onde électromagnétique consiste à mesurer le déphasage entre les composantes électriques et magnétiques de l'onde. Ce déphasage est lié à la distance émetteur/récepteur à condition que le récepteur se trouve dans la zone de champ proche de l'émetteur. Une limitation à cette technique en indoor est la dégradation du champ magnétique par les objets métalliques [3].

#### 1.10.10 La localisation par onde radio (WiFi, Bluetooth, RFID, ULB)

À l'inverse du GPS, les réseaux de communication à courte portée permettent de se localiser à l'intérieur des bâtiments. Ces réseaux sont déployés dans les bâtiments. Des précisions de l'ordre du mètre sont atteignables grâce aux réseaux locaux. On distingue plusieurs catégories d'interfaces de localisation. On trouve : Des réseaux d'étiquettes actives ou passives, dites RFID :

➤ **RFID** (en l'anglais Radio Frequency IDentification) est une méthode d'identification automatique qui permet de mémoriser et de récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes ». Ces radio-étiquettes, qui peuvent être implantées sur des objets ou même sur des corps humains, disposent d'une antenne et d'une puce électronique pour recevoir et répondre aux requêtes radio émises depuis l'émetteur-récepteur.

RFID permettent de détecter si un objet se trouve dans un certain périmètre autour du lecteur d'étiquettes. Ce type de localisation donne bien souvent une bonne précision, car elle est de l'ordre de quelques centimètres, voire dizaines de centimètres. Cependant la portée de ces étiquettes et de ces lecteurs d'étiquettes n'est pas très importante (de l'ordre de quelques mètres). Le procédé repose sur une détection de la présence ou non de l'élément étiquette dans le giron de la borne. Une connaissance de la position occupée par la borne permet de remonter à la position de l'étiquette. Cette information binaire (présence / non présence), n'est

pas toujours facilement exploitable notamment lorsque les zones de couvertures des différents lecteurs sont disjointes.

Pour obtenir une couverture quasi continue du service de localisation, il faut équiper l'environnement d'une grande quantité de capteurs. Malgré le faible coût de ces capteurs (RFID passif ou RFID actif) cela devient rapidement contraignant et coûteux et se transforme en un frein au déploiement de cette technologie. Dans certains environnements comme dans des entrepôts, de nombreuses pièces entreposées peuvent disposer de leur propre étiquette, et une localisation permanente de ces pièces n'est pas nécessaire. Une simple détection de la sortie de l'équipement est nécessaire. Cette technologie est adaptée à ce type d'application où il faut connaître l'état de transition d'une zone à une autre par l'information binaire de présence ou non. L'inconvénient de cette technologie est la faible portée du système et la contrainte de passer l'étiquette sur un lecteur [2].

➤ **Les réseaux locaux sans fil de type 802.11 :**

Sont une bonne alternative. Le réseau est composé d'un ensemble de points d'accès (Access Point ou AP) servant de relais de communication entre les objets mobiles et le réseau. Aujourd'hui ces réseaux 802.11a/b/g sont présents dans de plus en plus de lieux publics, ainsi que chez les particuliers. Le premier but de ces réseaux est d'effectuer des communications d'informations. L'idée est de détourner l'usage de ces réseaux à des fins de localisation.

Un certain nombre de signaux de contrôles sont émis pour gérer le roaming lors du déplacement de l'équipement mobile. Ces signaux lui permettent de rester connecté avec le point d'accès avec lequel le rapport signal à bruit (RSB) est le meilleur.

RADAR de Microsoft est basé sur ce principe. Une technique de localisation associée à ces réseaux est le fingerprinting par puissance de signal reçu. La portée des points d'accès peut aller jusqu'à 300 m pour des environnements outdoor, mais en indoor, cette portée est généralement comprise entre 50 à 70 mètres, ce qui est suffisant pour couvrir bon nombre de bâtiments. D'un autre côté leur prix étant aujourd'hui relativement bas, ce type de technologie devient accessible et la couverture radio intégrale d'un grand bâtiment et d'une ville est peu coûteuse [2].

➤ **Le Wifi**, aussi connu sous le nom du standard IEEE 802.11 est un protocole de communication qui est plus sophistiqué que le Bluetooth. La localisation par Wifi ressemble à

celle par Bluetooth : elle approxime la position de la personne en se basant sur certaines caractéristiques de la propagation des signaux.

L'inconvénient de la localisation par Wifi c'est qu'elle dépend d'une infrastructure relativement coûteuse dans l'endroit où on veut assurer le suivi d'une personne.

➤ **La technologie Bluetooth :**

Le Bluetooth ou standard IEEE 802.15, est un protocole de communication à courte portée de données. Il utilise une technique radio courte distance destinée à simplifier les connexions entre les appareils électroniques. La position d'un appareil mobile à l'aide de cette technologie est considérée comme le même que la cellule individuelle qu'il est en communication avec. L'inconvénient majeur d'un tel système de localisation c'est que sa précision est de 22cm avec 12 cas inférieurs à 10cm de la position réelle [4].

Cette technologie est similaire à la précédente du fait qu'elle se base sur un réseau composé de bornes servant de points d'accès entre un réseau sans fil et un réseau filaire. À l'intérieur des bâtiments, la portée de ces bornes est plus restreinte que celle des points d'accès 802.11, car elle n'est généralement que d'une dizaine de mètres.

L'exploitation de ce système n'est pas simple, car cela nécessite l'achat de points d'accès propriétaires. Les informations temporelles utiles pour le TDOA sont indisponibles dans les produits commerciaux actuels. Les performances annoncées pour ce système sont de l'ordre du mètre, tout comme pour le système de localisation par mesure de puissance.

➤ **L'UWB :**

L'Ultra Wide Band (UWB) a été développé en 1960 pour des applications radars utilisant une communication sans fil. C'est une technique de modulation radio qui est basée sur la transmission d'impulsions de très courte durée, souvent inférieure à la nanoseconde. L'UWB peut être utilisé pour la communication comme il peut être utilisé pour le positionnement de mobiles aussi : les récepteurs, qui sont répartis dans l'environnement, peuvent évaluer la distance des balises UWB, situées sur les mobiles, par mesure du temps de propagation des signaux émis par ces balises, ce qui permet au système de calculer la position des mobiles par triangulation [4].

UWB Est une technologie émergente dont les performances, en termes de localisation, semblent prometteuses. Les techniques de localisation associées sont généralement basées sur

les techniques temporelles, à savoir TOA (time Of Arrival) et TDOA (Time Difference Of Arrival). L'émission d'impulsions très brèves doit être favorable à la recherche de ce premier trajet correspondant au trajet direct entre un émetteur et un récepteur. S'il est possible de déterminer précisément l'instant d'arrivée de ce premier trajet, l'application d'un algorithme de trilatération semblable à celui utilisé pour le GPS permettra d'estimer la position du mobile. Des précisions de l'ordre de quelques centimètres sont attendues de cette nouvelle technologie du fait du grand pouvoir de séparation des trajets les uns par rapport aux autres [2].

➤ **ZigBee** : Une autre approche basée sur l'utilisation des étiquettes est la technologie ZigBee ou celles utilisant le standard IEEE 802.15.4. Des applications de localisation basées sur des mesures de la puissance reçue s'appuient sur cette technologie. Le débit de la communication étant bas, son intérêt principal est constitué par le coût faible et la gestion optimale de l'énergie et donc une autonomie importante [1].

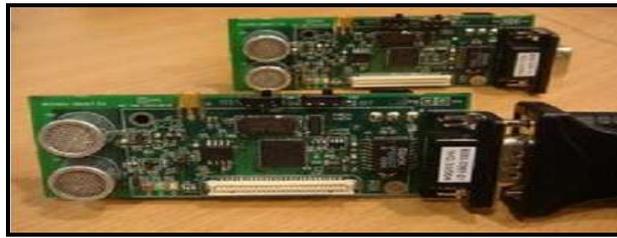
### 1.10.11 Analyse visuelle

Si on fait l'hypothèse que certains nœuds possèdent un sens supplémentaire comme la vision, il est alors possible de l'utiliser pour se localiser. Une telle technique fait appel à la reconnaissance de scènes. C'est le cas du petit robot Mars Explorer qui explore la planète Mars. Deux types de localisation sont envisageables : le premier consiste en une simple localisation relative (à droite d'un objet), et le second permet un positionnement absolu. Dans le cas d'une localisation relative, l'image que voit le robot est analysée. Une reconnaissance de formes est effectuée. Ainsi il peut contourner les gros cailloux qui se trouvent sur sa trajectoire : il passera à droite ou à gauche. Cette méthode est utilisée lorsque l'espace dans lequel évolue le robot est inconnu. Seule la position de sa station de base lui est connue. Quand l'environnement est connu, une position absolue est envisageable car si le robot identifie un lieu particulier dont il connaît la position alors il sait où il se trouve. Le problème de cette approche est qu'une base de données répertoriant des lieux géographiques avec leur description et leur position doit être effectuée avant de pouvoir être utilisée ! Un tel procédé est utilisé par les missiles de croisière. Ce missile balaye avec son radar le terrain et compare le contour de la topologie constatée avec la topologie du terrain enregistrée en mémoire (TERCOM - Terrain Contour Matching). Cette comparaison permet au missile de se localiser et le cas échéant de corriger sa trajectoire. En phase finale, le missile compare une image réelle de l'objectif avec l'image qu'il en a à ce moment. Cette comparaison est effectuée par le

module DSMAC (Digital Scene Matching Area Correlation). Un tel procédé est très coûteux et nécessite une longue phase d'acquisition des données [2].

### 1.10.12 Localisation par le système Cricket

Dans ce paragraphe, nous présentons un système dédié exclusivement à la localisation en indoor. Il s'agit du système Cricket (RF-Ultrason) dont la première version (version '0') a été conçue en 1999 par l'Institut de Technologie de Massachusetts. La figure 1.20 montre un exemple de système Cricket. Ce système utilise deux technologies différentes



*Fig 1.11 : Carte Cricket de deuxième version.* [8]

En effet, il combine à la fois les informations provenant d'une interface *US* avec celles provenant d'une interface *RF* en vue d'estimer la distance émetteur/récepteur puis, dans un second temps, déduire la position du mobile. Dans ce type de système :

- les NR (émetteurs) sont placés au niveau du plafond d'un édifice et émettent-en même temps :
  - ✓ des signaux RF contenant des informations de localisation,
  - ✓ une onde *US* pour synchroniser l'émetteur et le récepteur,
- le NM (récepteur) reçoit successivement l'onde *RF* et l'onde *US*. Il calcule, sur la base des TOA des deux signaux :
  - ✓ la TDOA (la différence des temps d'arrivée) comme suit :

$$\Delta t = t_{US} - t_{RF} = \frac{d}{c_{US}} - \frac{d}{c_{RF}}, \quad \text{où } d \text{ est la distance qui sépare l'émetteur du récepteur, } c_{RF} \text{ et } c_{US}$$

sont respectivement les vitesses de propagation des ondes *RF* et *US*, et enfin  $t_{RF}$  et  $t_{US}$  sont respectivement les TOA des ondes RF et US au NM.

- ✓ puis la distance émetteur/récepteur comme suit :  $d = \frac{c_{RF}c_{US}}{c_{RF} - c_{US}} \Delta t$ .

L'avantage majeur du système Cricket est sa précision centimétrique dans le cas LOS. Toutefois, l'utilisation de ce système est freinée par le coût d'installation dans le cas où l'environnement intérieur présente de nombreux multi-trajets. En effet, afin de maintenir la précision centimétrique et de pallier la faible portée des *US*, il faut assurer une couverture quasi continue de l'environnement en l'équipant d'une grande quantité d'émetteurs [7].

### **1.10.13 Localisation par « Active badge »**

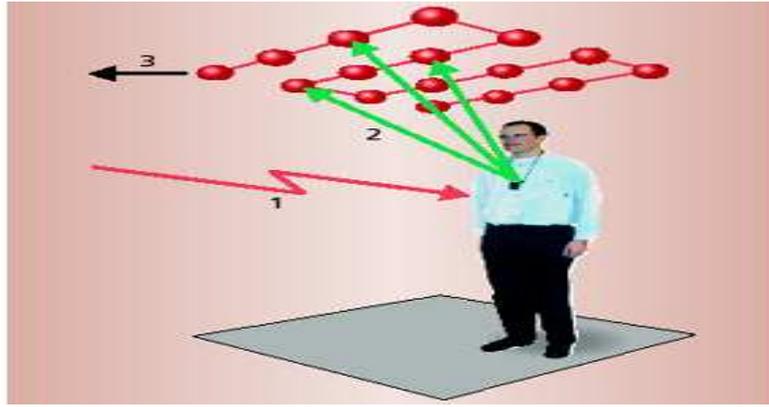
Cette approche a été choisie pour l'élaboration des premiers systèmes de localisation d'intérieur. Des badges infrarouges (IR) avec un numéro d'identification unique (ID-Tag), sont portés par les personnes travaillant dans les locaux. Des capteurs IR muraux relaient les ID-Tag à un serveur qui calcule les positions de tous les badges détectés.

Dans cette approche, si la personne ne sait pas dans quelle pièce elle se trouve, ce système ne lui est d'aucune aide car seul le serveur central sait où tous ces badges se trouvent. Une telle technique est utilisable à des fins de sécurité par exemple [2].

Le premier prototype de tous les systèmes de localisation interne à badge. C'est un système qui utilise les transmissions infrarouges pour localiser une cible qui porte une balise. La localisation se passe au niveau de la cellule. Chaque badge transmet un signal identificateur toutes les 10 secondes ou à la demande. Le système donne une position absolue et symbolique. Les cellules du système se limitent à quelques mètres. Une autre limitation est sa sensibilité aux sources de lumière fluorescente [10].

### **1.10.14 Localisation par « Active bat »**

Un système de localisation basé sur la transmission des ondes ultrasoniques. Il utilise le TOA avec la latération pour estimer une position physique. Chacune des cibles potentielles doit porter un badge qui transmet des signaux d'une manière périodique. Ces derniers sont saisis par des réseaux de capteurs accrochés au plafond. Chacun des capteurs estime la distance entre lui et les transmetteurs et communique cette information à un serveur central. Ce dernier utilise une combinaison des informations reçues afin de calculer une position de la cible.



*Fig 1.12 Principe de fonctionnement du système Active Bat [8]*

Le système est d'une précision de 9 cm avec une exactitude de 95 %. Active Bat est aussi capable de déterminer des informations sur l'orientation si les angles de la position initiale d'un badge sont connus. Le prix, l'échelle et la difficulté de déploiement sont les inconvénients de ce système [10].

#### **1.10.15 Localisation par MOTIONSTAR TRACKER**



*Fig 1.13 : MotionStar DC magnetic tracker [28]*

La localisation se fait par analyse de l'environnement. Le système calcule la réponse du canal au niveau de trois axes orthogonaux. Il ajoute à ces mesures l'effet du champ magnétique de la terre. Ce système est plutôt utilisé dans les technologies de réalité-virtuelle où la distance entre transmetteurs et capteurs ne doit pas dépasser les 3 mètres.

#### **1.10.16 Localisation par le système RADAR (Méthode déterministe)**

Le système RADAR, développé par Microsoft Research, est considéré comme l'un des premiers systèmes de localisation utilisant la technologie IEEE 802.11b. Le principe, de localisation de ce système, basé sur les RSSI, se déroule en deux étapes :

1. Pendant la construction de la base de données, le système stocke, en chaque point de mesure  $P_i$ , la puissance moyenne  $p_{i,j}$ , du  $j^{\text{eme}}$  AP, calculée à partir de celles mesurées par le NM (localisation descendante).

2. Dans la phase Online, le NM est situé dans la position  $P$  à déterminer selon le principe suivant :

- Le NM mesure les puissances  $(p_1, p_2, \dots, p_N)$  des différents AP.
- Ensuite, le NM calcule dans un premier temps la quantité suivante :

$$d(P_i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (p_j - p_{i,j})^2}, \quad i = 1, \dots, N, \text{ où } N \text{ est le nombre de points d'accès}$$

$(AP_1, AP_2, \dots, AP_N)$ . Puis dans un second temps, le NM estime sa position  $P$  comme suit :  $P = \arg \min d(P_i)$ . [7]

### 1.10.17 La méthode d'identification des empreintes (Fingerprinting)

Ils existent aussi des méthodes indépendantes de la géométrie des trajets qui ne font pas de supposition explicite sur l'existence du trajet direct, fonctionnant indépendamment de la configuration. C'est notamment le cas de la technique de cartographie radio (ou techniques des empreintes dans un réseau de capteurs). Cette technique consiste à identifier la signature du signal reçu parmi stockées dans une banque de données. Le procédé comporte deux étapes. La première, dénommée phase hors ligne, est constituée par la création d'une base de données avec les caractéristiques mesurées par chaque récepteur du réseau à un ensemble d'emplacements représentatifs pour les positions possibles de l'objet mobile. Un maillage de la zone d'intérêt est effectué et, pour chaque nœud, les caractéristiques mesurées par chaque récepteur du réseau sont enregistrées.

La phase en ligne consiste à trouver, à partir des caractéristiques mesurées de l'objet mobile, un correspondant dans la base de données à l'aide d'un algorithme de positionnement. Ces algorithmes sont classés en deux catégories:

#### ➤ *Déterministes :*

- Le voisin le plus proche (*VPP*) dans la base de données des puissances (ou plus rarement la TOA) du signal enregistrées durant la phase hors ligne: la méthode consiste à calculer la distance euclidienne entre les caractéristiques mesurées dans la

phase en ligne et celles stockées dans la base des données. Le point pour lequel la distance euclidienne est minimale est considéré représentatif pour la position de l'objet mobile.

- La moyenne des  $k$  voisins les plus proches ( $k$ -VPP) dans l'espace puissance du signal reçu: cette méthode constitue une extension de la précédente permettant d'améliorer les résultats. Les coordonnées spatiales des  $k$  voisins plus proches en termes de puissance du signal reçu sont moyennées pour donner une estimation de la position de l'objet d'intérêt.

- Le plus petit polygone: cette méthode consiste à choisir un nombre de voisins rapprochés et à constituer des polygones à partir de leurs coordonnées spatiales connues. La position de l'objet mobile est donnée par le centre du polygone d'aire minimale dans l'ensemble de polygones.

➤ **Probabilistes:**

Ces techniques utilisent les distributions de la puissance du signal reçu au niveau de chaque récepteur du réseau. Elles essaient d'améliorer les performances des méthodes déterministes affectées par les problèmes de stationnarité de l'environnement de mesures. Dans la phase hors ligne la distribution de la puissance reçue est calculée pour chaque récepteur dans chaque nœud de la maille. Dans la phase en ligne, en disposant du vecteur contenant les puissances mesurées à l'ensemble des récepteurs, l'emplacement le plus probable est retrouvé en appliquant le critère de Bayes [1].

### ***1.11 Classification des solutions existantes pour la localisation***

La localisation de personnes et d'équipements informatiques est devenue un enjeu économique majeur et n'a propension qu'à croître. L'information de positionnement est intéressante pour fournir aux utilisateurs des services spécifiques au lieu dans lequel ils se trouvent. Pour cela les chercheurs sont motivés à développer des algorithmes et systèmes de localisation basés sur l'utilisation des différentes techniques et technologies caractérisées par des avantages et des inconvénients. La gamme des solutions possibles pour les applications de localisation peuvent être classifiées en deux classes à base des techniques utilisées pour l'évaluation (l'estimation) de la position :

- ✓ **1<sup>ère</sup> Classe** : Localisation mono technique ;
- ✓ **2<sup>èmes</sup> Classe** : Localisation Hybride (Multi-Techniques).

### 1.11.1 Classe1 : Localisation mono technique

Dans la 1<sup>ère</sup> Classe, les travaux sont basés sur une seule technique de positionnement pour localiser un objet, une personne, ou autres.

Parmi ces travaux on cite le travail de Z. Yang, Y. Liu et X. Li dans [11] où ils ont analysés les limites des approches de localisation basées sur la technique « Trilatération » et ils ont proposé une nouvelle approche nommée WHEEL basée sur la notion de graphe de WHEEL. Cette conception hérite de la simplicité et de l'efficacité du trilatération, en même temps, elle améliore la performance de manière significative en identifiant plus de nœuds localisables. Pour valider cette approche, un prototype de système avec des dizaines de capteurs sans fil est déployé. Des simulations à grande échelle ont été conduites pour évaluer la scalabilité et l'efficacité. Les résultats expérimentaux prouvent que l'approche (WHEEL) surpasse considérablement des approches de localisation basées sur la technique « Trilatération » en termes de nombre de nœuds localisables (Localizable Nodes).

Dans [12], le groupe rapporte un travail préliminaire avec un système de positionnement local (LPS) basé sur la technique RFID conçu pour la localisation et le guidage des personnes et des véhicules autonomes dans les environnements d'intérieur. Le système se compose d'un lecteur RF porté par l'utilisateur mobile, et d'un certain nombre d'étiquettes RFID actives, disséminées aux positions connues dans la région de déplacement, qui émettent régulièrement des signaux RF avec un code d'identification. Une méthode efficace de localisation (filtre de particules) est employée pour traiter les mesures et pour produire une évaluation de la position. Le système RFID-LPS est examiné empiriquement dans une région de déplacement consistée en trois salles adjacentes, avec une surface totale de 250 m<sup>2</sup>, en lesquels on place 21 étiquettes (tags). Les premiers résultats montrent une erreur de positionnement moyenne typique de 3,25 m, qui est comparée favorablement avec d'autres systèmes rapportés dans la littérature. L'algorithme utilisé permet le développement d'un système de guidage à l'avenir.

Dans [13], E.Trevisani et A.Vitaletti sont basés sur la technique Cell-ID pour l'estimation de la position. Le positionnement par Cell-ID est peu coûteux et il n'exige aucune mise à niveau du réseau ou d'équipements terminaux, en plus de sa convenance à l'approvisionnement de services basés sur la localisation. Néanmoins, leurs expériences prouvent que la qualité de la localisation par cette technique n'est souvent pas appropriée pour déployer même des services très simples basés sur la localisation. Ils ont évalué la précision de la technique Cell-ID dans les environnements urbains et suburbaine. Les expériences prouvent que la précision de Cell-

ID n'est pas satisfaisante comme solution générale. En revanche ils montrent comment Cell-ID peut être efficacement exploité pour implémenter des services plus efficaces basés sur la localisation par voix.

D'autres travaux sont basés sur la technologie, tels que WIFI [14], Trilatération [15, 19], TOA (Time Of Arrival) [16], GPS[17], Fingerprinting [18, 20], etc...

### 1.11.2 Classe2 : Localisation hybride (*Multi-Techniques*)

Les approches de la 2<sup>èmes</sup> Classe sont basées sur une combinaison des techniques (technique Hybride) de positionnement pour évaluer ou estimer la localisation. Dans ces approches récentes, les auteurs combinent entre les méthodes de mesures du signal et / ou entre les technologies de localisation afin de bénéficier des avantages des unes et de minimiser les inconvénients des autres, et d'aboutir à des précisions élevées dans le calcul de la position. Par exemple dans [21] N. Deligiannis, S.Louvros et S. Kotsopoulos utilisent une technique hybridant TOA et AOA pour l'optimisation de l'estimation de la position dans les réseaux cellulaires mobiles, en utilisant des coefficients de poids afin de traiter l'erreur de localisation provoquée par la propagation NLOS des techniques de localisation : TOA et d'AOA. L'hybridation des techniques proposée a montré une amélioration de la précision de la position. Ceci a été détecté par l'exploitation de trois environnements 2D de simulation d'une seule trace de rayon (single ray trace simulation environnement). Tous les résultats d'une telle simulation acquise par des algorithmes hybrides se conforment aux règlements de FCC des États-Unis, alors que la réduction des erreurs de l'estimation de la position a atteint la valeur de 40% par rapport aux méthodes conventionnelles.

D'un autre côté, L. Reyero, G. Delisle proposent une combinaison entre le système GPS et WLAN [26] sous un nouveau concept nommé : Always Best Located (ABL) afin de concevoir un système de positionnement pervasif (indoor et outdoor), et garantir une meilleure précision de localisation dans n'importe quel environnement. Cette combinaison a prouvé une couverture importante indoor et outdoor. Le système ABL est validé par plusieurs utilisateurs où la localisation des personnes était garantie 23 heures par jour (97%).

En plus d'autres combinaisons ont réalisées telles que GSM et Fingerprinting [22], GPS, TDOA et AOA [23], WIFI et Fingerprinting [24], WLAN et Fingerprinting [25], etc...

### **1.11.3 La classe de notre projet**

Notre projet consiste à définir une nouvelle approche pour l'hybridation de certaines techniques de la localisation afin de surmonter les limites de ces techniques et d'améliorer la précision, la confiance et la fiabilité. Donc il sera classé dans la 2<sup>ème</sup> Classe (localisation hybride).

## ***1.12 Conclusion***

Les technologies présentées pour l'environnement indoor permettent d'atteindre des précisions pouvant aller de quelques centimètres à quelques mètres, ce qui les rend très attractives dans ce type d'environnement. Bien souvent, les technologies présentées pour l'outdoor, à savoir celles basées sur le GPS ou alors sur l'exploitation des réseaux terrestres, ne permettent pas d'avoir des précisions de cet ordre en indoor. Pour certaines technologies, il arrive qu'elles soient indisponibles car le niveau du signal en réception est trop faible suite aux atténuations successives.

D'un autre côté, le service est parfois disponible, mais alors l'incertitude sur la position est autour de dizaines de mètres, ce qui n'est pas pertinent pour une localisation dans des bâtiments. L'inconvénient de ces techniques de localisation indoor, est souvent leur faible couverture. Certaines des technologies ne possèdent qu'une couverture de l'ordre de quelques mètres autour de la borne émettrice, alors que d'autres peuvent couvrir jusqu'à un bâtiment.

Les futurs terminaux mobiles devront posséder plusieurs moyens de se localiser s'ils veulent, d'une part, se localiser dans tous les types d'environnements, et d'autre part obtenir la précision la plus grande possible suivant les environnements dans lesquels ils évoluent.

Dans le prochain chapitre, nous proposons une nouvelle approche, appelée HTL, permettant l'hybridation de certaines techniques et technologies de localisation afin de concevoir un système de positionnement pervasif qui garantit la localisation des personnes ou des objets n'importe où et n'importe quand en assurant une large couverture indoor et outdoor.

# *Chapitre*

## **2. LA LOCALISATION HYBRIDE**

### ***2.1 Introduction***

L'état de l'art est très riche de travaux traitants des problèmes de localisation, soit mono technique ou multi techniques. Dans le premier chapitre, nous avons étudié la localisation mono technique et nous avons classé quelques travaux existants dans la littérature basés sur ces techniques.

A partir de premier chapitre nous avons conclu que la localisation mono technique ne répond pas aux exigences et besoins actuels en terme de localisation, donc nous avons étudié dans ce chapitre la localisation hybride, où nous avons cité certains travaux basés sur l'hybridation des techniques de localisation, afin de pouvoir proposer une nouvelle approche hybride pour la localisation.

### ***2.2 Principe de localisation hybride***

Dans les approches récentes de localisation, les auteurs combinent entre les méthodes de mesures du signal et / ou entre les technologies de localisation afin de bénéficier des avantages des unes et de minimiser les inconvénients des autres, et d'aboutir à des précisions élevées dans le calcul de la position. La localisation hybride consiste alors à combiner deux ou plusieurs techniques et / ou technologies pour concevoir un système de localisation plus fiable.

### ***2.3 L'hybridation des techniques et / ou technologies de localisation***

Dans cette section, on a cité quelques travaux existant dans la littérature concernant la localisation hybride, où les résultats expérimentant de ces travaux sont rapportés par les auteurs.

### 2.3.1 L'hybridation TOA – AOA

Le positionnement mobile est un grand aspect dans les réseaux mobile cellular (GSM, UMTS etc.), ce qui permet de présenter une nouvelle classe d'applications basées sur la connaissance de la position de l'abonné. Plusieurs techniques compliquées ont été présentées, le besoin à la simplicité d'implémentation et d'exécution tient l'intérêt pour des techniques conventionnelles telles que l'heure d'arrivée (TOA) et l'angle d'arrivée (AOA).

N. Deligiannis, S. Louvros et S. Kotsopoulos ont proposé deux versions améliorées des techniques TOA et AOA, appelées Enhanced Time of Arrivals (E-TOA) et Enhanced Angle of Arrival (E-AOA) afin d'optimiser l'estimation de la position dans les réseaux cellulaires mobiles par l'hybridation de ces nouvelles techniques (E-AOA, E-TOA) [21].

La précision a été améliorée en présentant des coefficients additionnels de poids (additional weight coefficients) reflétant la propagation LOS/NLOS pour traiter l'erreur de localisation provoquée par la propagation NLOS des techniques de localisation TOA et AOA.

Afin d'évaluer la nouvelle technique de positionnement proposée, trois environnements 2D de simulation sont exploités (rural, suburbs, city centre). Chacun des trois environnements ont une couverture de  $440 \times 440 \text{ m}^2$  qui est divisée en 100 cellules. Les environnements incluent des bâtiments qui sont faits de béton armé et des rues qui sont faites de l'asphalte. Il est suggéré qu'il n'y a aucune voiture, arbres ; etc... La figure 2.1 présente les résultats de la simulation en termes de l'erreur de localisation et la table 2.1 illustre les résultats de simulation en termes de précision.

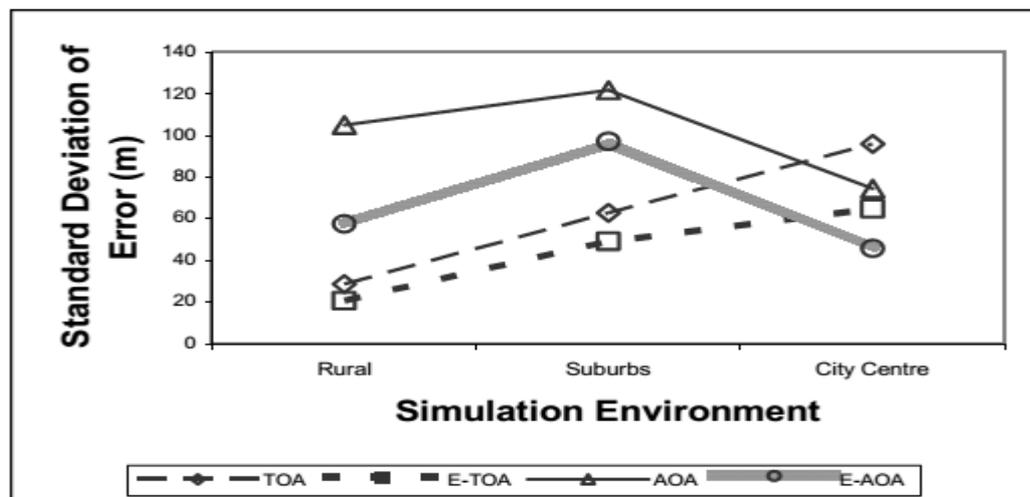


Fig. 2.1 : Résultat de la simulation en termes d'erreur de localisation [21].

Technique de positionnement	Pourcentage de la précision de localisation pour 100m/300m		
	Rural	Suburbs	City centre
TOA	95.8% / 100%	80% / 100%	84.3% / 96%
E-TOA	100% / 100%	88% / 100%	90.2% / 98%
AOA	54.2% / 95.8%	64% / 100%	68.6% / 98%
E-AOA	87.5% / 100%	80% / 96%	88% / 100%

*Tableau 2.1 : Résultat de simulation en termes de précision [21].*

L'hybridation des techniques proposée (E-TOA et E-AOA) a montrée la bonne amélioration de la précision de la position. La réduction des erreurs de l'estimation de la position a atteint, d'après les auteurs, la valeur de 40% par rapport aux méthodes conventionnelles.

### **2.3.2 L'hybridation entre GPS, WLAN et l'algorithme de détection de places**

L. Reyero et G. Delisle proposent une combinaison entre GPS, WLAN et l'algorithme de détection de place [26] sous un nouveau concept nommé Always Best Located (ABL) afin de concevoir un système de positionnement pervasif (indoor-outdoor), et de garantir une meilleur précision de localisation dans n'importe quel environnement. Le premier composant de cette hybridation est un algorithme de détection de places, basé sur WLAN, qui détermine la localisation de l'utilisateur comme une place reconnue parmi une liste de lieux connus à l'intérieur des bâtiments. Le GPS est utilisé comme le second composant afin de garantir une excellente précision et couverture dans les environnements outdoor. Finalement, le troisième composant est l'algorithme de positionnement WLAN qui est utilisé dans les secteurs indoor inconnus et dans l'outdoor quand le GPS est indisponible.

Cette combinaison a été choisie à partir d'une étude (en termes de précision et de couverture) des quatre technologies principales de localisation, à savoir GPS, GSM, WLAN, et Bluetooth, qui a conduit à sélectionner les technologies les plus complémentaires.

Les résultats obtenus dans cette étude ont prouvé que GPS et WLAN offrent une couverture complémentaire dans de nombreux environnements de la ville de Montréal, où le GPS assure la bonne localisation en outdoor, et WLAN pour la localisation en indoor et aux centres urbains.

Le système de positionnement hybride proposé combinant les deux technologies a été établi, en développant un algorithme capable de s'orienter à la méthode de positionnement la plus précise selon les circonstances. La première méthode de positionnement a utilisé des points d'accès WLAN, et des algorithmes existants de détection de places pour identifier la salle dans laquelle l'utilisateur est actuellement situé. Si aucune salle ne pourrait être identifiée, le GPS sera utilisé en tant que la deuxième méthode de positionnement. La localisation par WLAN a été utilisée quand le GPS est indisponible, tel que dans les centres urbains (intra-bâtiments). Des algorithmes de découverte ont été développés pour localiser automatiquement les points d'accès WLAN.

En conclusion, toutes ces méthodes de positionnement ont été intégrées dans un seul système de positionnement. Cette combinaison a prouvé une couverture intéressante en indoor et en outdoor. Le schéma de la figure 2.2 présente les opérations du prototype ABL proposé.

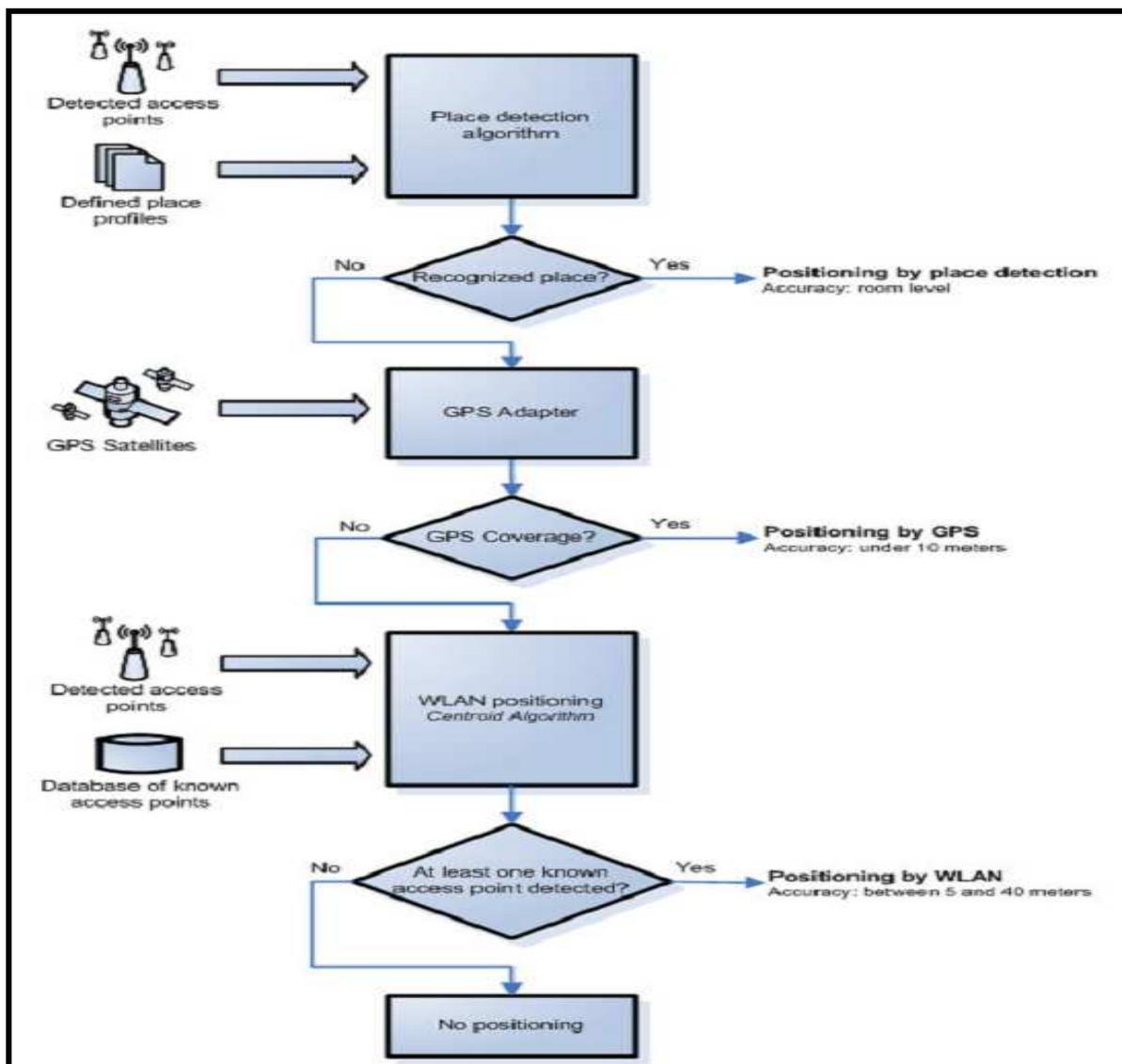


Fig 2.2 : Les opérations de système Always Best Located (ABL) [26].

Le système ABL est validé par plusieurs utilisateurs où les résultats d'expérience ont prouvé que l'hybridation proposée pour le positionnement peut maintenir la localisation de l'utilisateur pendant 95% du temps, c.à.d. 22 heures et 45 minutes par jour. Les résultats illustrés dans la table 2.2 présentent la couverture assurée par chaque technologie prise individuellement et celle assurée par leurs combinaison dans le prototype ABL proposé.

Composition de couverture	Participant 1	Participant 2	Participant 3
% obtenu par détection de place	91%	93%	88%
% obtenu par GPS	4%	3%	5%
% obtenu par WLAN	2%	1%	1%
Total ABL	97%	97%	94%

*Tableau 2.2 : les résultats expérimentants de l'hybridation proposée. [26]*

### 2.3.3 Une fusion des données statiques pour une localisation hybride

Anja Klein dans [34] traite le problème de l'estimation de la localisation des terminaux mobiles en se basant sur l'hybridation des mesures PR (Pseudorange) du GPS, RTT (Round Trip Time) et des mesures RSS (Received Signal Strength) du système globale de communication mobile (GSM).

Les mesures qui sont fournies par les mobilophones et les récepteurs conventionnels de GPS, sont efficacement combinées en employant la fusion statistique de données, de sorte qu'il soit possible d'estimer la position des terminaux mobiles même si le nombre de mesures fournies par le GPS est insuffisant pour déterminer la position du terminal mobile. Les algorithmes hybrides correspondants à la localisation sont conçus afin d'avoir une meilleure performance dans des situations où les mesures sont affectées par les propagations LOS, ou les propagations qui commutent entre LOS et NLOS.

Afin d'analyser les algorithmes hybrides de localisation, une structure mathématique est présentée qui décrit le scénario hybride de localisation. Dans ce travail, les trois types suivants d'algorithmes hybrides de localisation sont présentés :

- **Les algorithmes hybrides non récursifs de localisation** : qui ne tiennent pas compte des dépendances temporelles existantes entre le temps consécutif des positions de terminal mobile et les mesures.
- **Les algorithmes hybrides récursifs de localisation**: qui tiennent compte des estimations et des mesures précédentes fournies par le terminal mobile dans les étapes précédentes.

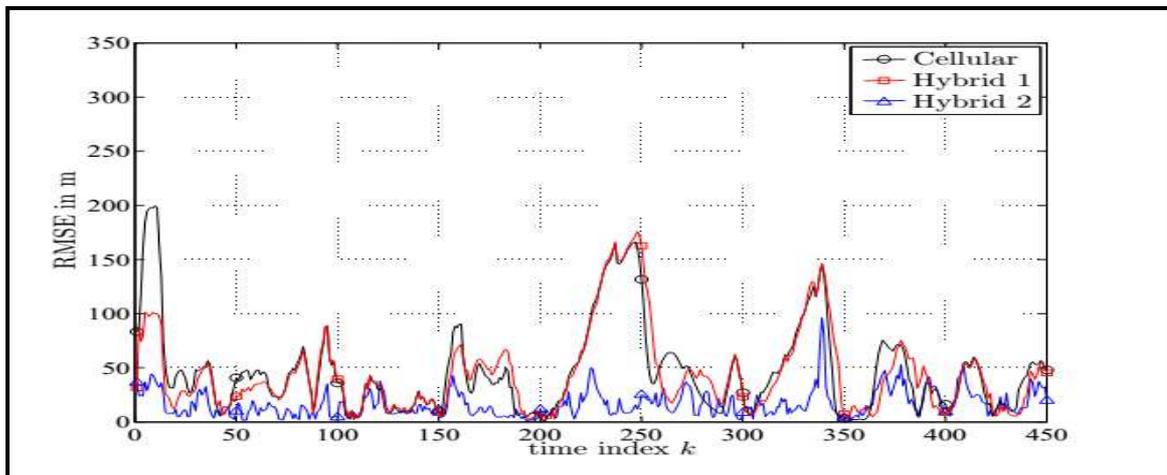
➤ **Les algorithmes hybrides récursifs de localisation avec la détection adaptative**

**LOS/NLOS** : qui tiennent compte des estimations et des mesures précédentes, fournies par le terminal mobile avec l'estimation des conditions de propagation courantes.

A. *Les algorithmes non récursifs de localisation hybride* sont basés sur le principe de maximum likelihood (ML). Les estimateurs ML pour les propagations LOS et pour les propagations qui commutent entre LOS et NLOS sont nouvellement dérivés, les estimations ML sont numériquement obtenues en utilisant des algorithmes suboptimaux.

Les résultats d'essai de simulation en service réel ont prouvé que tenir compte en plus des mesures PR de GPS et GRT de GSM dans les algorithmes peut de manière significative améliorer l'exactitude de localisation, comparée aux algorithmes qui ne tiennent compte que des mesures RTT et RSS de GSM. La figure 2.5 présente ces résultats où :

- **Cellular method**: en utilisant une mesure de RTT, et sept mesures de RSS.
- **Hybrid 1 method**: en utilisant les mesures de la méthode cellulaire plus une seule mesure PR d'un seul satellite GNSS.
- **Hybrid 2 method**: en utilisant les mesures de la méthode cellulaire en plus des mesures de deux satellites différents de GNSS.



*Fig 2.3 : Résultat de comparaison entre les méthodes cellulaires, hybride et hybride2 [34]*

B. *Les algorithmes récursifs de localisation hybride* développés dans ce travail sont des estimateurs basés sur le filtre de Kalman (KF), et les estimateurs basés sur le filtre de particules (PF). Différents estimateurs pour des propagations LOS et pour des propagations qui commutent entre LOS et NLOS sont nouvellement proposés. Les estimateurs basés sur PF tiennent compte, en plus, de l'information de la route pour améliorer l'exactitude de localisation. La meilleure performance théorique achevée des estimateurs récursifs est trouvée en évaluant le postérieur CRLB (PCRLB). Il est

montré que, tenir compte en plus de l'information de la route dans les estimateurs, peut améliorer de manière significative la précision de la localisation, ce qui est prouvé par les résultats de la simulation illustrés dans la table 2.3.

<i>Méthodes</i>	<i>L'erreur de localisation de TM</i>	
	<i>PF sans contraintes de route</i>	<i>PF avec contraintes de route</i>
Cellulaire	50.26	49.42
Hybride 1	47.49	46.30
Hybride2	29.85	19.76

*Tableau 2.3 : L'erreur de position avec et sans prise en compte de contrainte de route pour les 3 méthodes (cellulaire, hybride1, hybride2) [34].*

C. Les algorithmes hybrides récursifs de localisation avec la détection adaptative LOS/NLOS, proposés dans ce travail, sont basés sur un modèle multiple d'estimateur en interaction (interacting multiple model estimator (IMM)), qui est combiné avec le filtre de KALMAN étendu (EKFs) et deux estimateurs basés sur des modèles multiples PF. Les estimateurs basés sur des modèles multiples PF tiennent compte, en plus, de l'information de route pour améliorer l'exactitude de localisation. Une nouvelle méthode est présentée pour déterminer le PCRLB pour les estimateurs récursifs avec la détection adaptative LOS/NLOS.

Il est montré, que les estimateurs basés sur de multiples modèles PF, avec des contraintes de route surpassent généralement l'IMM-EKF [34]. Il est encore démontré que IMM-EKF garantie la meilleure compensation entre la performance et la complexité informatique, les contraintes de la route ne sont pas considérées dans les estimateurs basés sur le modèle PF multiple.

### **2.3.4 L'hybridation des techniques CMDS et PSO**

La localisation des nœuds est un problème très important dans les réseaux de capteurs sans fils. En particulier, il est presque impossible de garantir qu'un algorithme donnant des résultats optimaux pour une telle topologie, donnera aussi des résultats optimaux pour n'importe quelle autre topologie aléatoire.

Cette étude propose un algorithme hybride de localisation nommé RH+ [35], qui vise à combiner les meilleures caractéristiques des deux techniques orthogonales : Classical Multi-Dimensional Scaling (CMDS) and Particle Spring Optimization (PSO). L'algorithme proposé (RH+) emploie une version modifiée de CMDS pour trouver une estimation initiale, et la méthode (PSO) pour optimiser cette estimation. Dans cette étude, ils ont également étudié la

méthode Least Square Scaling (LSS), et ils ont constaté qu'elle n'est pas orthogonale avec les algorithmes étudiés.

Les résultats montrent que RH+ est une méthode efficace de localisation pour des topologies régulières et irrégulières. Il est constaté que cette approche hybride donne une solution convergente rapide, avec une résistance à une gamme d'erreurs, et elle est très robuste au changement de topologie. À travers toutes les topologies étudiées, l'estimation moyenne d'erreur est moins que 0,5 m quand la densité moyenne des nœuds est 10 dans différentes topologies où seulement 2,5% des nœuds sont des balises.

La figure 2.4 montre que les positions des nœuds obtenues par l'approche RH+ sont plus précises que celles estimées par d'autres approches (CMDS ; CMDS+LSS). La figure montre la performance de RH+ par rapport aux autres approches.

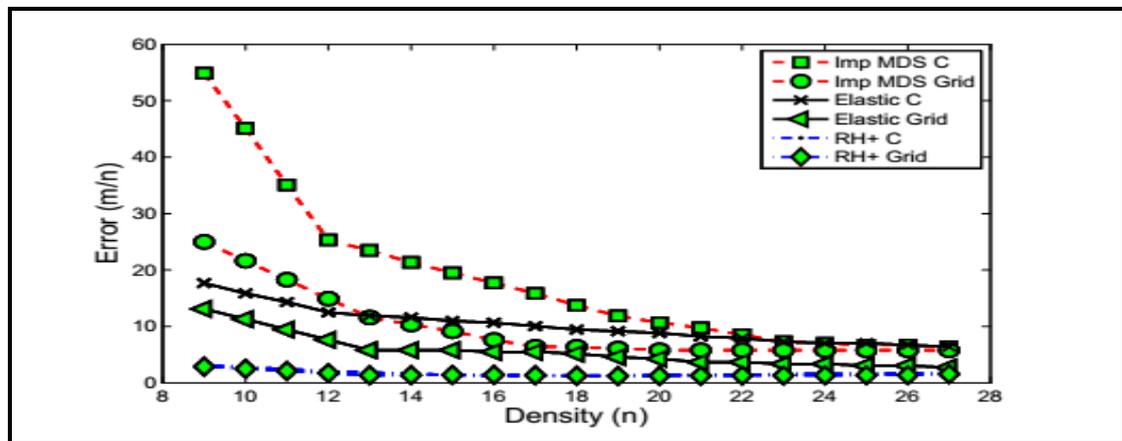


Fig 2.4: Comparaison de performance de RH+ avec d'autres algorithmes [35].

### 2.3.5 L'hybridation de l'algorithme Harmony Search avec une procédure locale de recherche

Dans la majorité des applications basées sur les réseaux de capteurs sans fils (WSNs), la disponibilité de l'information précise de localisation des nœuds du réseau peut devenir fondamentale. Le problème de localisation des nœuds est d'estimer toutes les positions inconnues de nœuds.

D. Manjarres, J. Del Ser, G. Lopez, M. Vecchio et L. Torres [36] ont proposé une nouvelle approche de localisation basée sur la technique Simulated Annealing (SA). Cette hybridation consiste en une technique itérative de localisation basée sur l'hybridation de l'algorithme Harmony Search (HS) avec une procédure de recherche locale, dont le but est d'identifier les problèmes de localisation des nœuds dans un réseau WSN, et atteindre ses effets au cours du

processus itératif. En outre l'algorithme HS tient compte des contraintes géométriques imposées par les connections entre les nœuds pour limiter les zones du réseau où quelques nœuds peuvent être localisés.

La procédure de recherche locale agit sur les positions des nœuds basculés (flipped). En particulier, le problème de localisation est formulé sous forme de combinaison de deux termes dans une fonction de fitness qui sera minimisée. Le premier terme représente l'erreur quadratique entre les distances inter-nœuds estimées et celles mesurées, tandis que le second établit une pénalité pour toutes les violations de voisinage dans la topologie estimée du réseau. L'objectif est d'estimer avec précision les positions des nœuds (non-anchor) en minimisant la somme de deux fonctions objectives :

✓ la première fonction, nommée Cost Function (CF), se réfère à l'erreur quadratique entre la distance estimée et la distance mesurée inter-nœuds. Cette fonction est définie comme

$$\text{suit : } CF \triangleq \sum_{i=m+1}^n \left( \sum_{j \in N_i} (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2 \right),$$

où  $d_{ij}$  et  $\hat{d}_{ij}$  représentent respectivement la distance estimée et mesurée entre le nœud  $i$  et  $j$ .

où :  $d_{ij} = r_{ij} + e_{ij}$  tel que :  $r_{ij} \triangleq \|p_i - p_j\|$  et  $\hat{d}_{ij} \triangleq \sqrt{(\hat{x}_i - \hat{x}_j)^2 + (\hat{y}_i - \hat{y}_j)^2}$ .  $P_i$  et  $P_j$  représentent les cordonnés de nœuds  $i$  et  $j$  respectivement ( $P_i = (x_i, y_i)$ ).

✓ La seconde fonction, nommée Soft Constraint Violation (SCV), tiennent compte des violations de la connectivité de voisinage des nœuds non-ancres dans chaque topologie candidate. Elle est définie comme suit :

$$SCV = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{\substack{j \in N_i \\ \hat{d}_{ij} > R}} (\hat{d}_{ij} - R)^2 + \sum_{\substack{j \in N_i \\ \hat{d}_{ij} \leq R}} (\hat{d}_{ij} - R)^2 \right)$$

Le terme  $(\hat{d}_{ij} - R)^2$  représente l'erreur minimale due à un flip de localisation, et afin d'évaluer la qualité de l'estimation finale, l'erreur de la localisation (Normalized Localization Error, NLE) est calculée comme suit :

$$NLE = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{1}{(n-m)} \sum_{i=m+1}^n \|p_i - \hat{p}_i\|^2} \times 100 \quad ,$$

Où clairement, une valeur de NLE proche de 0% correspondrait au cas de l'estimation sans erreur.

Quelques résultats de simulation préliminaires montrent que l'approche proposée surpasse la méthode SA, en termes de l'erreur normalisée de localisation (Normalized Localization Error, NLE) et de la complexité du calcul.

Ce travail représente la première tentative pour appliquer l'algorithme HS à la localisation des nœuds. Les étapes de l'algorithme HS ont été exécutées comme suit :

- Premièrement, une initialisation de la population par un certains nombre de nœuds ancrés et d'autres non-ancrés. Le processus d'initialisation est considéré à la première itération seulement.
- A chaque itération de l'algorithme, le processus d'improvisation est appliqué successivement à chaque candidat. Cette méthode d'improvisation repose sur trois paramètres probabilistes (Harmony Memory Considering Rate, *HMCR* ; Pitch Adjusting Rate, *PAR* ; Random Selection Rate, *RSR*).
- En additionnant aux étapes traditionnelles de l'algorithme HS, une procédure locale de recherche qui vise à améliorer la fitness du candidat avec la valeur métrique potentiellement la plus basse. Cette procédure est appliquée pour chaque nœud  $i$  :
  - Se trouvant en dehors de la région de couverture de tout nœud ancre ;
  - Et dont l'un de ses voisins dans la topologie estimé viole les contraintes de connectivité imposées par la ligne  $i$  de  $C$ . Dans ce cas, ces nœuds ancrés situés dans la portée de connectivité de ses vrais voisins sont d'abord sélectionnés. Le nœud à main est alors déplacé à l'intersection des anneaux avec un rayon interne et externe respectivement  $R_1$  et  $R_2$ , centrés sur ces nœuds ancrés choisis, sous la condition que le nombre de faux voisins (Les voisins faux dans le réseau estimé qui violent les contraintes de connectivité qui sont posées par  $C$ ) diminue. Le reste des vrais voisins, qui ne sont reliés à aucun nœud ancre sont aléatoirement placés à l'intérieur de la portée centrée sur la nouvelle position de ce nœud.

L'évaluation des nouvelles solutions produites du candidat et la mise à jour de la mémoire du candidats sont exécutées à chaque itération en se basant sur la fonction métrique globale (CF+SCV). Enfin, seulement les candidats (solutions) améliorant la fitness par rapport à ceux de l'itération précédente seront inclus dans la mémoire du prochain candidat. Une fois ceci a

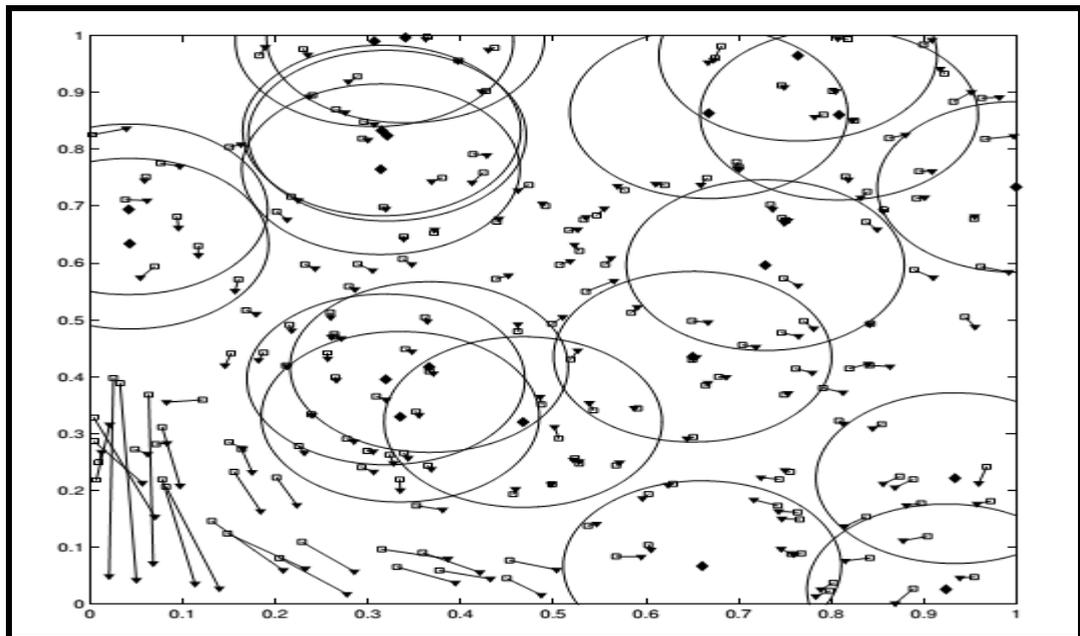
été fait, la mémoire du candidat est triée dans l'ordre croissant des valeurs de la fitness de ses composants (candidats).

Après un nombre fixe d'itérations, l'algorithme est stoppé, et l'ensemble de positions estimées est indiqué par la première solution  $\{x_i^l, y_i^l\}_{i=1\dots N}$  dans la mémoire de solutions.

Les deux algorithmes (SA et HS) proposés ont été comparés en termes de l'erreur de localisation (NLE), où les résultats de simulations montrent que la nouvelle approche surpasse les systèmes de localisation méta-heuristiques déjà proposés, en termes de l'erreur de localisation et de la complexité de calcul.

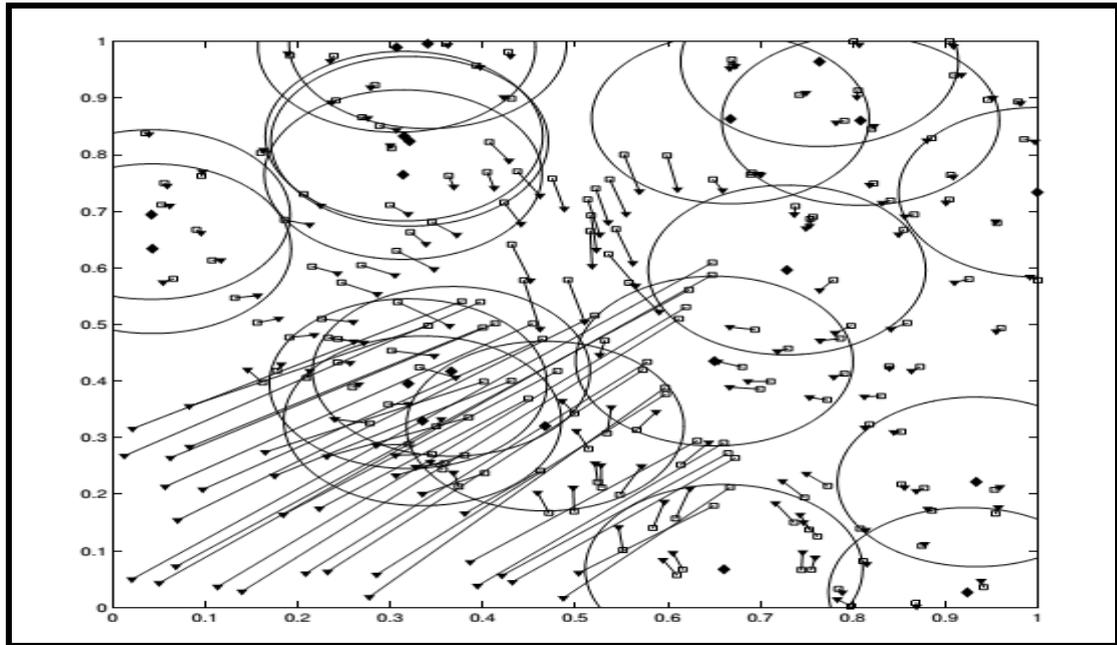
Les figures suivantes (2.5et 2.6) présentent les résultats de la comparaison entre les deux algorithmes, où les nœuds ancrés sont représentés avec des diamants ( $\diamond$ ) et leurs zones de couverture avec des cercles vides. Les positions réelles des nœuds non-ancres sont tracées avec des triangles remplis ( $\Delta$ ) et reliées à des positions estimées (représentées par des carrés vides ( $\square$ )) Par des lignes continues.

La figure 2.5 présente les positions des nœuds non-ancres estimées par l'algorithme HS proposé en comparaison avec leurs positions réelles, en se basant sur la valeur maximale de l'erreur de localisation obtenue dans les expérimentations.



*Fig 2.5 : Les positions des nœuds estimées par l'algorithme HS proposé [36].*

D'un autre côté, la figure 2.6 présente les positions des nœuds estimées par l'algorithme SA en comparaison avec leur positions réelles, en basant sur la valeur maximale de l'erreur de localisation obtenue dans les expérimentations.



*Fig 2.6 : les positions des nœuds estimées par l'algorithme SA [36].*

Le lecteur peut observer que l'algorithme HS, conjointement avec la procédure proposée de recherche, peut éliminer les effets du flip ambiguity et d'estimer les positions des nœuds non-ancres isolés significativement meilleurs que l'approche SA.

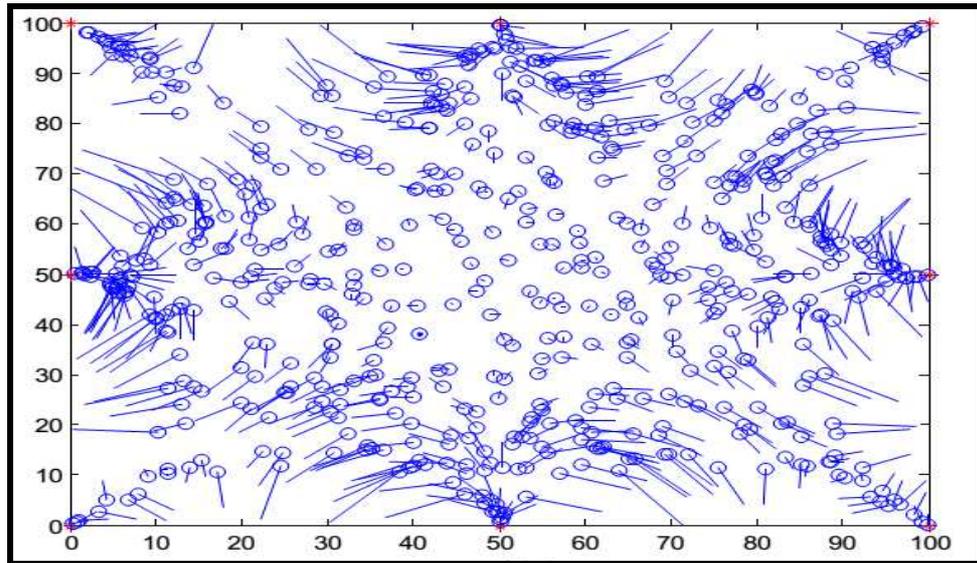
### **2.3.6 Un algorithme hybride de localisation basé sur RSSI**

Actuellement, avec le développement rapide du multimédia et des services de données, la demande de la navigation et d'un positionnement précis se développe considérablement, en particulier dans les environnements intérieurs complexes. En raison de cette complexité, la faible précision de localisation et le long temps de positionnement ...etc, il n'existe pas de technologies parfaites pour le positionnement indoor.

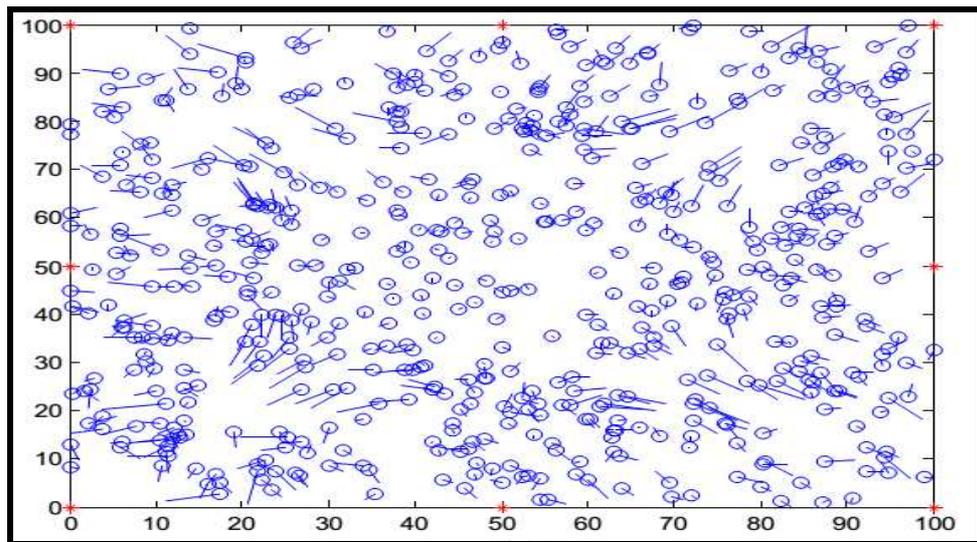
Dans ce cadre, Jun ZHU, Hui GAO et Shuai MA ont proposé un algorithme hybride basé sur Received Signal Strength Indicator (RSSI) [37]. A partir d'une analyse comparative des caractéristiques et de l'insuffisance de l'algorithme Weighted Centric et la méthode du moindre carré (Least Square Method), une méthode dynamique en temps réel pour résoudre le problème de déperdition de chemin est d'abord présentée pour améliorer évidemment la précision des mesures RSSI. L'hybridation consiste qu'après l'estimation de la position du nœud par l'algorithme Weighted Centric, la méthode Least Square est appliquée pour repositionner les nœuds inconnus de la proximité des nœuds ancres pour améliorer la précision de localisation.

L'algorithme proposé est comparé à l'algorithme (weighted centric) dans la partie de simulation. Les figures 2.7 et 2.8 présentent respectivement les résultats de simulation en

termes de l'erreur de localisation obtenue en appliquant l'algorithme traditionnel Weighted Centric, et celle obtenue par l'algorithme hybride proposé.



*Fig 2.7 : l'erreur de localisation obtenue par l'algorithme weighted centric [37].*



*Fig 2.8 : l'erreur de localisation obtenue par l'algorithme hybride proposé [37].*

Les résultats expérimentaux montrent que l'algorithme hybride proposé améliore l'exactitude de la localisation, et les erreurs de localisation sont réduites plus que 10% comparées aux méthodes traditionnelles.

### **2.3.7 Un système hybride de localisation multi-résolution (AP, EM)**

Dans ce travail [38], l'équipe de recherche a étudiée les algorithmes AP (alternating projection) et EM (expectation maximization) pour une source multiple de localisation à large bande, et ils ont cherché le compromis entre la complexité de calcul et la précision de la

localisation. Grâce à l'analyse et les études empiriques des méthodes de localisation AP et EM, ils ont conçu un nouveau système hybride de localisation multi-résolution afin de surmonter les inconvénients de chacune de ces méthodes (AP et EM) en améliorant la précision de localisation et en minimisant la complexité du calcul.

L'algorithme hybride est proposé comme une nouvelle source de positionnement consiste en la combinaison des deux méthodes AP et EM dans un seul algorithme qui est comme suit :

✓ **Première étape :**

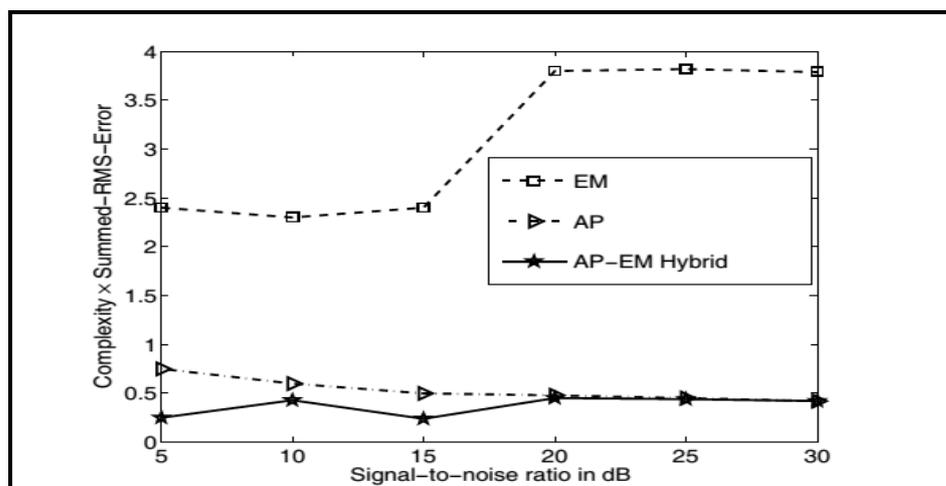
Utilisez l'algorithme AP en utilisant la résolution "approximative", qui est indiqué par des points de la grille ( $N_x'$ ,  $N_y'$ ) respectivement dans les directions de x et de y. Les résultats de cette étape peuvent être considérés comme une estimation brute de la localisation  $r_s'$ .

✓ **Deuxième étape :**

Utilisez les résultats estimés de la première étape ( $r_s'$ ) pour exécuter la procédure EM avec une résolution plus fine, ce qui est indiqué par les nouveaux paramètres de grille ( $N_x''$ ,  $N_y''$ ) pour certains nombre d'itérations (i). L'estimation finale de la position peut être obtenue par  $r_s''$ .

Les résultats de la simulation montrent que le système hybride proposé pour la localisation peut surmonter les deux méthodes AP et EM en termes de complexité et en termes de précision.

La figure 2.9 présente les résultats de comparaison entre la méthode hybride proposée pour la localisation et les méthodes traditionnelles (AP et EM) en termes de l'erreur de positionnement et, en même temps, de la complexité de calcul.



*Fig 2.9: comparaison entre les méthodes EM, AP et la méthode hybride en termes de complexité de calcul et d'erreur de localisation [38].*

Ces résultats ont montrés la performance de l'hybridation proposée par rapport à la prise de chacune des méthodes (EM, AP) individuellement.

### 2.3.8 Une approche hybride utilisant APS et PDM

Dans ce travail [40] il a été montré que les nœuds dans un réseau ne devraient pas toujours utiliser le même algorithme de localisation. Pour réduire l'erreur dans l'estimation de la position, l'algorithme de localisation doit être choisi dynamiquement par chaque nœud selon sa situation. Un réseau de capteurs peut être constitué de milliers de nœuds, donc une approche véritablement distribuée est plus appropriée. Par conséquent, ils ont concentré leurs études sur les algorithmes distribués APS et PDM. Ils ont étudié si un algorithme simple surpasse les autres dans tous les nœuds d'un réseau de capteurs en termes de précision de localisation. Les résultats montrent que ni APS ni PDM ne peut être un gagnant absolu. APS était plus performante pour quelques nœuds tandis que PDM était lui aussi plus performante pour d'autres. Si un nœud peut intelligemment identifier quelle méthode est la meilleure pour lui, l'évaluation de la position peut être plus précise. Ils ont développé ainsi un algorithme pour chaque nœud non-ancre pour déterminer si la méthode APS ou PDM devrait être utilisée.

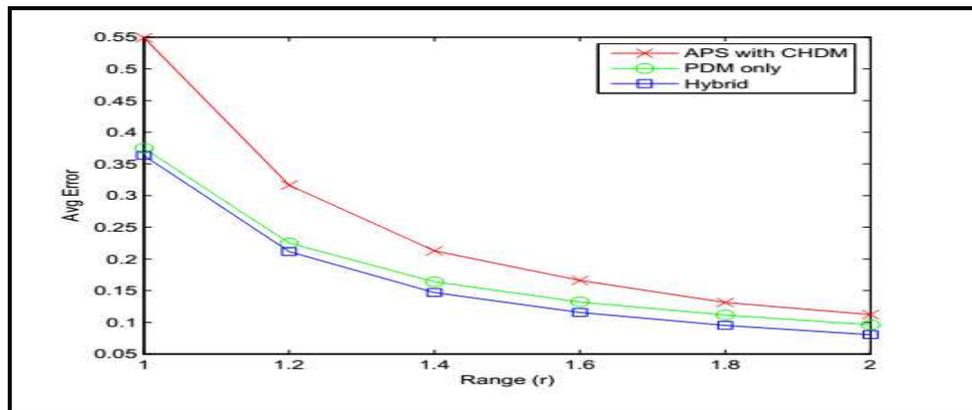
Les nœuds obtiennent l'information de distance selon le protocole original de PDM. Puis, une condition est vérifiée et si la condition est satisfaite, APS sera utilisée; autrement, PDM est utilisée. Le mécanisme de détection s'appelle *la méthode de détection de Convex Hull* (Convex Hull Detection Method, CHDM). C'est une méthode distribuée, où chaque nœud exécute le même algorithme de détection et prend sa propre décision indépendamment des autres. D' autre part, ces décisions ne doivent pas être distribuées aux voisins ou à aucune station de base. L'algorithme CHDM ne fait pas une hypothèse sur la topologie sous-jacente, et peut être utilisé dans des réseaux de différentes tailles et forme, il est basé sur les facteurs suivants :

- Le nombre de nœuds ancres utilisés ;
- La position des nœuds ancres ;
- Les distances des nœuds ancres.

Le choix de la méthode de localisation à utiliser est basé sur le résultat de la méthode CHDM (Convex Hull Detection Method) et le nombre de sauts entre le nœud d'intérêt et les nœuds ancre. Ils ont généré 30 réseaux différents, où chaque 250 nœuds sont des balises. Parmi 225 nœuds qui exigent la localisation, en moyenne, 125 nœuds auront des positions plus précises

en adoptant la méthode APS améliorée (*un nœud non-ancres essaye de trouver des " bons " nœuds ancrés pour l'estimation de sa position*). En d'autres termes, environ la moitié des nœuds peuvent obtenir la meilleure estimation de la position par PDM tandis que les nœuds de l'autre moitié peuvent calculer leurs positions plus exactement par la méthode APS améliorée.

L'approche hybride proposée est évaluée, les résultats de la simulation montrent que l'approche proposée est plus performante que l'approche originale qui consiste à utiliser soit PDM ou APS dans différents espaces radio. La figure 2.10 présente ces résultats.



*Fig 2.10 : Comparaison entre les méthodes PDM, APS et la méthode hybride proposée en termes de l'erreur moyenne de localisation [40].*

### 2.3.9 La fusion des LDPs hybrides pour la localisation

Mohamed LAARAIEDH stipule qu'un système de localisation doit être capable d'exécuter deux tâches principales : la mesure des paramètres topo-dépendants (location dependent parameters, LDPs) ; e.g. time of arrival (TOA), time difference of arrival (TDOA), and received signal strength indicator (RSSI), et l'estimation de la position en utilisant des estimateurs appropriés.

L'objectif principal de ce travail [39] est l'étude des différentes techniques d'estimation de la localisation. Deux types de techniques d'estimation de la localisation sont adressés. Le premier est basé sur la formulation algébrique de LDPs et le deuxième est basé sur la représentation du LDPs sous forme de contraintes géométriques. Il est appelé Robust Geometric Positioning Algorithm (RGPA).

Les Techniques algébriques étudiées sont :

- les moindres carrés (least-squares, LS) ;

- le maximum de vraisemblance (Maximum likelihood, ML) ;
- la programmation semi-définie (Semidefinite programming, SDP).

Toutes ces techniques sont développées et comparées avec les systèmes de localisation : hybride et non-hybride. Les systèmes de localisation non-hybrides sont basés sur un seul type de LDPs (i.e. RSSI, TOA ou TDOA), tandis que les systèmes hybrides sont des systèmes qui fusionnent plus d'un type de LDPs (i.e. RSSI+TOA, RSSI+TDOA, TOA+TDOA et RSSI+TOA+TDOA). La technique géométrique RGPA proposée est basée sur l'analyse par intervalles et la représentation géométrique des paramètres topo-dépendants.

L'accent est mis sur la fusion de différents paramètres topo-dépendants et son influence sur la précision du positionnement. L'estimation et la mesure des paramètres topo-dépendants sont également étudiées en utilisant une campagne de mesures afin d'avoir une compréhension complète du domaine de localisation.

Le travail est centré sur l'étude de l'importance de la fusion des LDPs hybrides, et il a prouvé que la technique proposée RGPA surpasse toutes les méthodes algébriques, et la technique ML (Maximum Likelihood) est la technique algébrique la plus précise. En outre, ce travail recommande d'utiliser tous les RSSI disponibles et il est nécessaire d'ajouter les LDPs basés sur le temps pour atteindre la précision de positionnement demandée avec un minimum de ressources. La figure 2.11 présente les résultats de comparaison entre les différents systèmes hybrides et non hybrides en termes de l'erreur de localisation, qui ont prouvé l'importance de la fusion des LDPs.

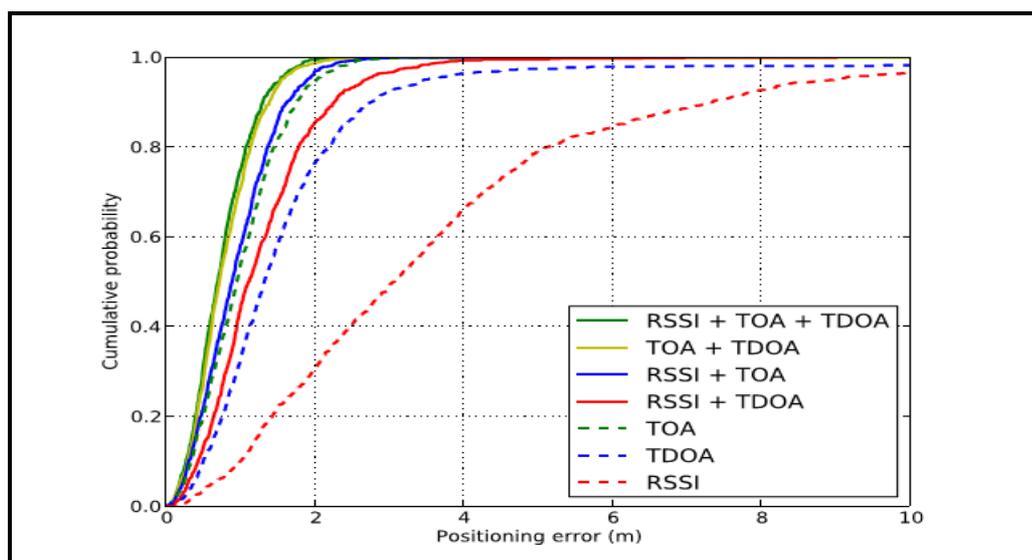
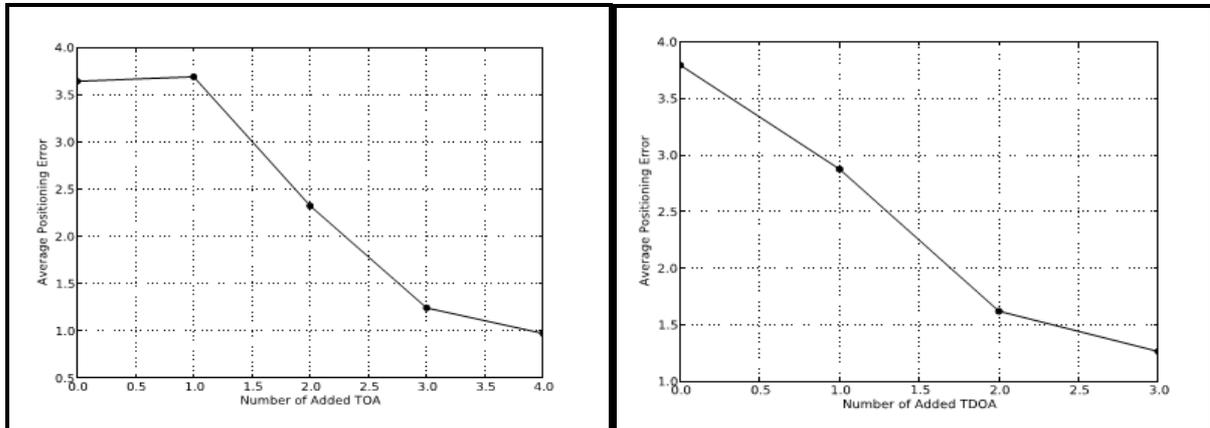


Fig 2.11: L'erreur de localisation des différents systèmes hybrides et non hybride en utilisant la technique ML

[39].

La figure 2.12 présente les résultats de la simulation qui montrent l'effet de l'ajout des TOA et TDOA complémentaires à la technique RSSI sur la précision de positionnement.



*Fig 2.12 : l'effet de TOA et TDOA supplémentaires sur la précision de position [39].*

Ces résultats montrent l'importance de l'hybridation de plusieurs LDPs (location dependent parameters) pour une meilleure localisation.

### 2.3.10 L'hybridation A-GPS, WIFI et Cell-ID

La possibilité de suivre la mobilité des enfants et des personnes âgées peut permettre l'utilisation de nombreuses applications. GPS et WI-FI sont utilisés afin de pouvoir calculer la position d'une personne avec une meilleure précision, mais AGPS consomme beaucoup d'énergie et la couverture WI-FI est limitée. D'un autre côté, CELL-ID offre une couverture ubiquitaire dans la majorité des environnements habités, mais a une précision inférieure comme inconvénient.

Le travail décrit dans [41] est un modèle de mobilité avec économie d'énergie, en utilisant CELL-ID, AGPS et WI-FI tout en se basant sur l'idée d'une carte de mobilité. Pour économiser l'énergie, des informations utiles sont extraites à partir d'un ensemble de données historiques en les regroupant dans des points de localisation qui sont classés ensuite dans des PCL (Personal Common Locations), CL (Crucial Locations) et LPs (location points) comme des éléments clés dans la carte de mobilité. En outre, au cours de la poursuite en ligne, ils ont utilisé un diagramme de transition de cinq états pour modéliser la mobilité d'une personne, qui peut réduire le nombre d'AGPS fixes.

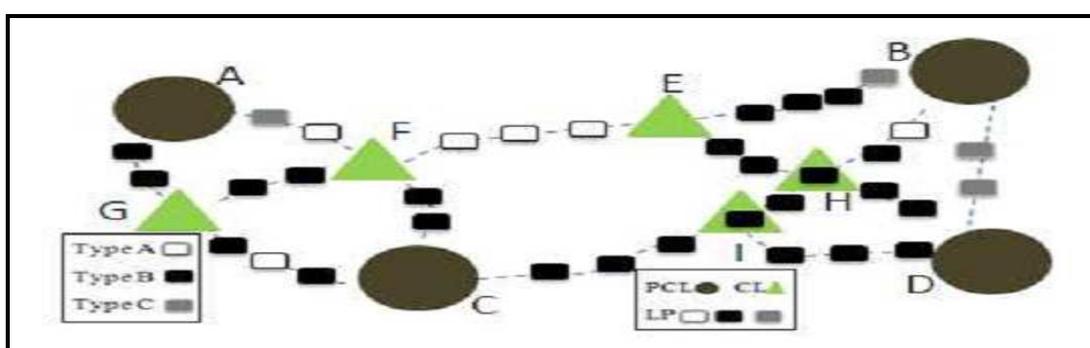
CL est un point qui met fin à plusieurs voies, et PCL est un endroit où la personne passe beaucoup de temps.

Le processus de poursuite est divisé en quatre parties :

- Collection de données ;
- Traitement des données hors ligne ;
- Poursuite en ligne ;
- Reconstruction du chemin.

Avec l'utilisation de la carte de mobilité, le nombre d'AGPS fixes peut être significativement réduit, et une identification plus précise de la localisation de la personne peut être fournie pendant la phase de poursuite.

La figure suivante 2.13 présente le modèle de la carte de mobilité utilisé pour la poursuite en ligne.



*Fig 2.13 : La carte de mobilité [41].*

La carte de mobilité est composée de points de localisation qui sont dérivés de la segmentation des données historiques de localisation d'une personne. Ces points de localisation sont de trois catégories : PCLs, CLs et une collection de LPs ordinaires. La structure de ces catégories est résumée dans la table 2.4.

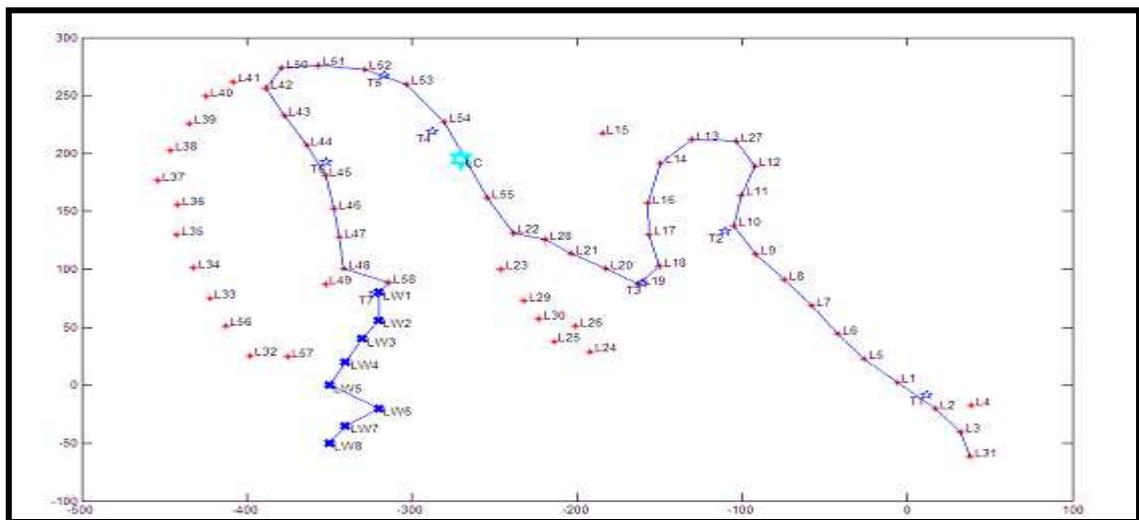
Les mesures	Description
Type A	(Pas de GPS, pas de Wi-Fi) seulement les mesures de Cell-ID qui sont prise en considération. Toutes les mesures de type A avec le même Cell-ID sont groupées dans un LP distinct.
Type B	Latitude-longitude dérivée par GPS, avec ou sans utilisation de Wi-Fi. Groupée dans des LPs.
Type C	Latitude-longitude dérivée par Wi-Fi sans GPS, groupée dans des LPs comme pour le type B mais avec un rayon plus large et également pas de filtrage.

*Tableau 2.4 : Les différents types de mesures de localisation [41].*

Chaque CL ou LP ordinaire correspond à un emplacement défini par les mesures de type A, B ou C, selon différents scénarios de la vie quotidienne. (L'utilisateur étant en extérieur, intérieur, ou sur le métro,...etc.).Un PCL peut correspondre à un emplacement

défini par une combinaison de plus d'un type de mesure en raison de l'étape de segmentation (Clustering) manuelle.

A partir d'une expérimentation réalisée dans une université, il est montré que le nombre d'AGPS fixe est significativement réduit, et le vrai chemin peut être prévu et reconstruit avec succès. La figure 2.14 illustre ces résultats, où ils ont reconstruis le chemin d'accès basé sur l'estimation en ligne du segment de la route où se trouve l'utilisateur. Ils ont connecté les centres de segment de cette route comme ça a été présenté dans la figure 2.14. Ces résultats montrent la performance de l'approche proposée.

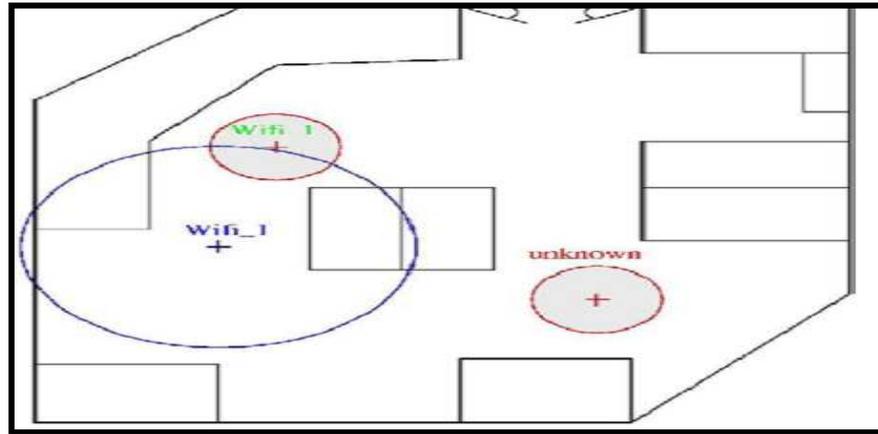


*Fig 2.14 : reconstruction de chemin [41].*

### 2.3.11 L'hybridation RFID, Wifi et Vision [42]

Les applications de localisation intra-bâtiment ont des besoins spécifiques en termes de précision et de passage à l'échelle, auxquels une technologie de localisation unique ne peut généralement pas répondre. En combinant l'identification forte de la localisation radio avec la précision du suivi de la vision par ordinateur, on fournit une nouvelle solution robuste pour la localisation intra-bâtiment multi-cibles et multi-échelle ne nécessitant pas d'infrastructures dédiées.

La combinaison de la localisation Wi-Fi et du système de suivi basé vision nous fourni une localisation précise d'une cible avec son identité. La localisation Wi-Fi nous fournit une faible précision de la localisation mais une identification forte. Toutes les cibles détectées par le système de vision dans un intervalle de précision de trois mètres d'une cible Wi-Fi potentielle peuvent être identifiées.



*Fig. 2.15 : Le résultat de la combinaison de la localisation WiFi/Vision [42].*

Le résultat d'expérimentation montre que l'une des personnes suivies porte un transmetteur Wi-Fi est identifié et localisé dans tout le bâtiment. Lorsqu'il entre dans la salle, le système de vision augmente la précision et identifie la cible la plus proche.

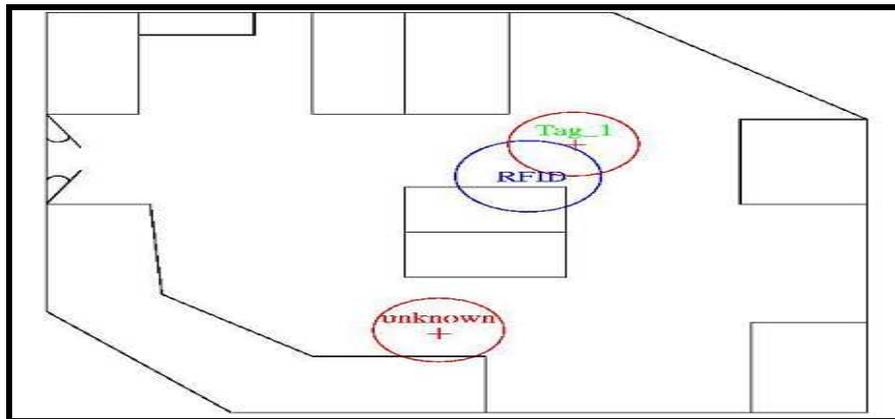
Les combinaisons numériques des résultats provenant de la vision et du Wi-Fi ne sont pas utilisées afin d'obtenir une localisation plus précise à cause de la trop grande différence de précision entre les deux techniques.

D'un autre côté, la complémentarité temporelle des deux technologies (RFID, Vision) est évidente : alors que les tags RFID fournissent des informations éparses et asynchrones en fonction des déplacements de l'utilisateur, un système basé-vision fournit une information isochrone avec une fréquence constante correspondant à la fréquence d'acquisition. La complémentarité spatiale est plus difficile à mettre en évidence: les tags RFID ont potentiellement une meilleure précision mais au prix d'un manque de continuité spatiale. Actuellement, la continuité spatiale de la localisation fournie par le système de vision est également limitée (par des murs ou autres obstacles visuels) dans des environnements intérieurs. Si des tags sont fixés sur des dispositifs ou sur des vêtements, ils fournissent une forte identification des dispositifs ou des personnes qui les portent, alors que le système basé vision, de la façon dont il est utilisé, ne peut fournir qu'un label arbitraire qui identifiera temporairement l'entité suivie, ce qui correspond à une identification faible.

Les situations ambiguës sont le résultat des problèmes d'associations de données. La première situation ambiguë provient du fait que plusieurs utilisateurs peuvent être détectés par le système de vision comme étant simultanément dans la même région d'identification RFID. La deuxième provient du fait que le système de vision peut perdre une cible, par exemple elle

peut être occultée par un obstacle visuel. Dans ces cas, on peut s'attendre à ce que la combinaison des deux technologies améliore la gestion de l'identification.

La solution proposée consiste alors qu'un système de gestion de tags RFID permet de suivre des personnes portant un unique tag à travers un ensemble de lecteurs de tags. Chaque lecteur de tag gère les collisions afin d'obtenir une identification robuste lorsque plusieurs tags se trouvent simultanément dans son champ. Le système de localisation basé vision est calibré afin de suivre tous les humains portant ou non un tag, entrant dans le champ de la caméra à travers une zone d'initialisation prédéfinie.



*Fig. 2.16: Le résultat de la combinaison RFID/Vision [42].*

La figure 2.16 présente le résultat du système de suivi visuel de deux cibles en mouvement combiné avec les informations provenant des tags RFID. Le plan de la salle montre les positions des cibles associées au résultat du système de vision. Les deux cercles pleins représentent les cibles suivies avec leur précision et l'autre cercle représente la portée du lecteur RFID. Une des cibles est identifiée alors qu'elle est entrée dans le champ du lecteur.

Ils ont alors proposé une architecture et implémenté un système qui rend possible l'intégration de technologies de localisation à différents niveaux d'abstraction. Le cas particulier de l'intégration multi-technologies présenté ici peut paraître ad hoc et spécifique aux technologies proposées, mais il peut en fait être généralisé aux technologies fournissant des données avec des propriétés similaires, correspondant à des modèles homologues de l'espace.

### 2.3.12 L'hybridation des algorithmes inertiels et RSSI

Le travail décrit dans [43] présente une évaluation de la performance d'un algorithme hybride de localisation basée sur des indicateurs RSSI (Received Signal Strength), et des données inertielles appliquées dans un réseau réel WSN. Les Algorithmes de localisation à base de RSSI présentent une faible précision du fait de la variabilité du signal radio.

L'ajout d'informations inertielles, telles que les valeurs d'accélération obtenues par une unité de mesure inertielle (Inertial Measurement Unit, UMI) combinée avec une implémentation d'un algorithme de fusion de données dédiées, peut fournir un niveau de précision plus élevé. Afin d'évaluer le gain de précision, ils ont comparé les résultats obtenus en utilisant uniquement des données RSSI par rapport aux valeurs fournies par un système hybride de localisation dans le même environnement. La figure 2.17 présente les résultats de cette comparaison. Ces résultats montrent la performance de l'approche hybride proposée par rapport à l'utilisation de RSSI seul.

Real Position (x, y) [m]	RSSI localization (x, y) [m]	MSE RSSI [m <sup>2</sup> ]	Localization	Hybrid localization (x, y) [m]	MSE Hybrid [m <sup>2</sup> ]	Localization
1.35, 0	0.12, 1.54	3.88		1.27, 1.38	1.91	
1.35, 1	0.32, 0.47	1.34		1.65, 1.53	0.37	
1.35, 2	0.11, 1.16	2.24		1.24, 2.41	0.18	
1.35, 3	0.98, 3.92	0.98		1.32, 3.62	0.39	
1.35, 4	0.02, 1.2	9.61		1.48, 3.92	0.02	
1.35, 5	2.25, 3.54	2.94		1.54, 4.28	0.55	
1.35, 6	1.01, 4.47	1.70		1.36, 4.92	1.17	
1.35, 7	0.98, 4.47	6.69		1.27, 6.01	0.99	
<b>Average MSE Value</b>		3.67			0.70	

*Fig 2.17: Résultats de comparaison entre RSSI et l'algorithme hybride proposé [43].*

### 2.3.13 L'hybridation entre Wi-Fi, Fingerprinting et Trilatération

L'objectif de la recherche [44] est de fournir un moyen accessible pour la localisation à l'intérieur en utilisant le réseau sans fil local (WLAN), la technologie Wi-Fi. Ils ont combiné deux approches différentes pour localiser un utilisateur.

La première approche implique l'utilisation de la combinaison entre received signal strength (RSS) préenregistré à partir des points d'accès (AP), et les données transmises par l'utilisateur en l'air. Ceci est communément connu comme un "alignement d'empreintes digitales" (fingerprint matching). La deuxième approche est une approche de Trilatération basée sur la distance à l'aide de trois coordonnées AP déjà connues qui sont détectés sur le

dispositif de l'utilisateur pour calculer sa position. La combinaison des deux étapes améliore la précision de la position de l'utilisateur dans un environnement intérieur et permettant aux services basés sur la localisation (LBS) telles que la réalité augmentée mobile (Mobile Augmented Reality) à déployer plus efficacement dans l'environnement intérieur.

### 2.3.14 L'hybridation entre Fingerprinting et Trilatération

La chose nécessaire pour la méthode de Trilateration est l'emploi d'un modèle de propagation du signal pour convertir le « signal strength » SS en une mesure séparée de la distance récepteur-émetteur (Transmitter-Receiver, T-R). Avec l'utilisation d'un modèle empirique général, on peut seulement obtenir une distance très imprécise de T-R, ainsi un modèle plus précis est exigé. La propagation du signal RF est très compliquée, particulièrement dans l'environnement indoor.

Dans la contribution [45], une méthode hybride est proposée pour améliorer l'approche de trilateration. Cette méthode est basée sur le fait que la propagation du signal RF est très compliqué dans l'environnement indoor, mais localement, par exemple dans une salle, le modèle de propagation a un meilleur comportement. Cette méthode hybride consiste en deux étapes :

*Dans la première étape*, la méthode d'empreinte digitale (Fingerprint) est utilisée avec une phase rapide de préparation (ce qui signifie qu'il n'y a que quelques points de référence et une base de données très petite) pour obtenir une estimation de la position de l'utilisateur mobile (MU) et indiquer dans quelle salle se trouve MU.

La localisation par fingerprinting se compose de deux phases : 'Training' et 'Positioning', où la première phase (training) consiste en une base de données qui contient des mesures de signaux sans fils (SS) à plusieurs points de référence (RPs) dans la zone de couverture WLAN est établie. Pendant la phase de positionnement, la position de MU peut être identifiée en comparant ses mesures SS aux données de référence.

*Dans la deuxième étape*, un modèle empirique précis de la propagation du signal peut être trouvé, et la distance de T-R peut être estimée. Puis la trilatération est utilisée pour calculer la position de MU avec plus de précision.

Les résultats d'expérimentation montrent que la méthode proposée est meilleure que la méthode de simple Trilateration basée sur le modèle général de propagation, mais plus mauvaise que la méthode d'empreinte digitale (Fingerprint) avec une phase moyenne de

préparation (training). La table 2.5 présente les résultats de la comparaison des différentes méthodes.

	<i>Méthode hybride</i>	<i>Modèle général</i>	<i>Fingerprinting (NN)</i>
<i>Mean distance error (m)</i>	1.83	4.62	1.78
<i>Standard deviation (m)</i>	0.97	3.50	1.14

*Tableau 2.5 : Comparaison des résultats en utilisant les différentes méthodes [45].*

D'une façon générale, la difficulté de la méthode de Trilateration employant des SS est comment convertir des SS en une distance exacte de T-R. Cependant, l'environnement indoor complexe rend cette tâche très dure.

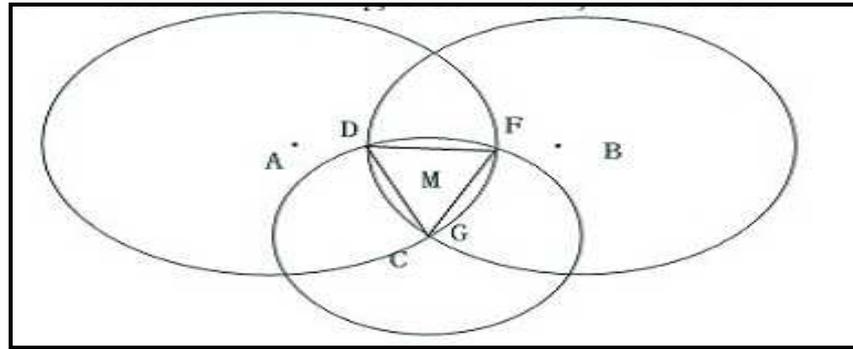
La méthode hybride proposée ici a bien amélioré l'exactitude du modèle, mais les résultats sont toujours moins bons que la méthode d'empreinte digitale (Fingerprint). Il est difficile d'améliorer le modèle empirique, mais pas très difficile de favoriser la méthode d'empreinte digitale, telle que l'augmentation de RPs (reference point) en utilisant de meilleurs algorithmes.

### **2.3.15 L'Hybridation des techniques RSSI et AOA**

Dans les applications de réseaux sans fils, l'information de la localisation est très importante, donc la position des nœuds du réseau devient un problème qui est résolu en général soit en utilisant GPS (qui est caractérisé par le coût élevé et la faible précision) soit la technique RSSI. La technique RSSI n'a pas besoin de matériels supplémentaires, elle déduit la distance entre les nœuds en analysant la puissance du signal sans fil reçu. Parmi toutes les techniques de localisation, RSSI offre le coût le plus bas pour les mesures de distances entre les nœuds d'un réseau sans fils.

Dans la contribution [46], un algorithme hybride de localisation basé sur les deux techniques RSSI et AOA est proposé pour améliorer l'exactitude de la localisation. En raison de la non-linéarité de la fonction de coût basée sur RSSI, ils ont proposé une méthode numérique pour corriger et optimiser la valeur du poids de la force du signal (Signal Strength) nommée CO-WVSS. L'algorithme hybride de localisation (CO-WVSS) comporte trois phases principales :

- **Première phase** : réduire l'erreur de la mesure RSSI par la contrainte de distance géométrique et le nœud inconnu par l'algorithme de localisation du centre de triangle (triangle centroid location algorithm).



*Fig. 2.18: Triangle Centroid Localization Algorithm [46].*

Les coordonnées inconnues  $(x_m, y_m)$  du nœud M peuvent être obtenues par l'algorithme Centroid (Centroid Algorithm). L'équation suivante représente ces coordonnées :

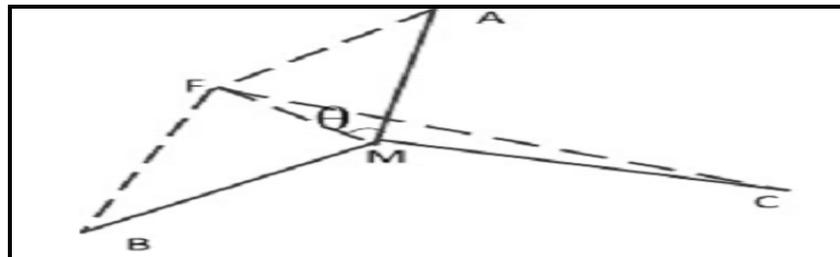
$$\begin{cases} x_m = \frac{x_D + x_f + x_g}{3} \\ y_m = \frac{y_D + y_f + y_g}{3} \end{cases}$$

➤ **Deuxième phase** : Estimer l'angle et le chemin par AOA.

AOA est représenté dans l'équation suivante :

$$\sin \theta / \cos \theta = (x_f - x_m) / (y_f - y_m)$$

➤ **Troisième phase** : le point F, sur la figure 2.18, est obtenu par l'algorithme de centre du triangle (triangle centroid algorithm) dans un environnement idéal.  $\theta$  est l'angle radiale, et MF est le chemin radial, tel que présenté dans la figure 2.19.



*Fig 2.19: Correction et optimisation de la position [46] .*

Afin de vérifier la performance de l'algorithme de localisation (CO-WVSS) proposé, les résultats de la simulation sont comparés avec l'algorithme conventionnel (triangle centroid localization algorithm) basé sur RSSI. Les simulations ont été effectuées en utilisant le simulateur OPNET.

Les résultats de la simulation montre que cette proposition surpasse les algorithmes de localisation conventionnels, et peut réduire l'erreur de localisation jusqu'à 20% (voir figure 2.20).

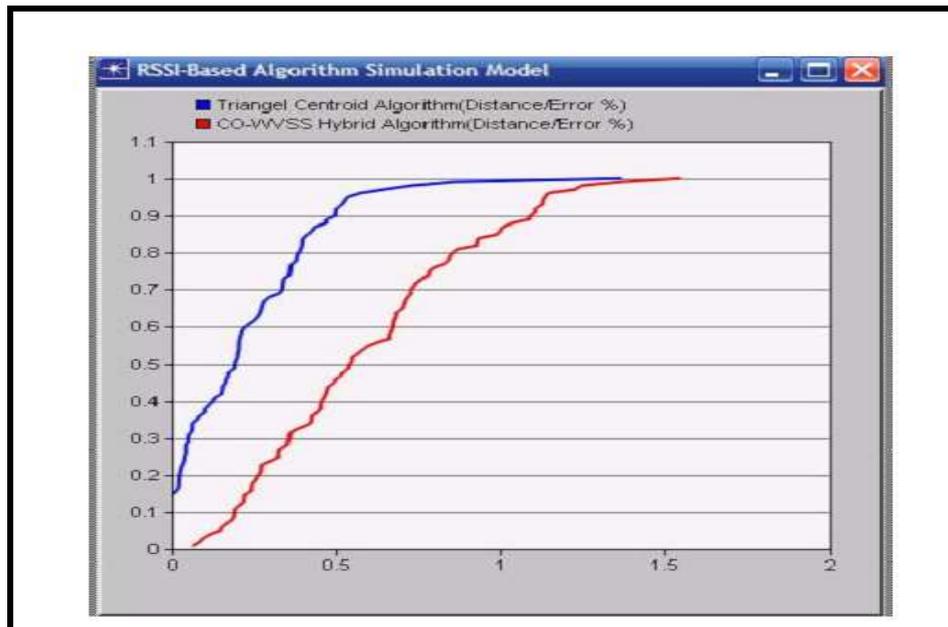


Fig. 2.20 : Variation des algorithmes en termes de l'erreur de localisation [46].

Néanmoins, cette étude n'est pas parfaite, plusieurs contraintes doivent être prises en considération. Par exemple, l'environnement souffre des propagations de signaux qui influent sur la performance de la localisation.

### 2.3.16 Map-Aware basée sur l'hybridation de TOA et RSS

La précision des systèmes de localisation sans fil en indoor peut être sensiblement améliorée en dotant le système d'une carte (Map-Aware) de l'environnement, i.e., le système connaîtra la carte de l'environnement dans lequel les signaux de localisation sont acquis. Cette connaissance peut être exploitée pour annuler au moins dans une certaine mesure la dégradation du signal due à la propagation par des obstacles physiques (propagation NLOS). Ce résultat peut être atteint par l'élaboration de nouvelles techniques de localisation reposant sur la modélisation correcte de la carte statistique des mesures qu'ils traitent.

Dans le travail décrit dans [48], un modèle statistique unifié pour les mesures acquises dans les systèmes de localisation sur carte basés sur des techniques d'intensité du signal TOA et RSS a été développé et sa validation expérimentale est illustrée. Ce modèle est validé en exploitant un ensemble de mesures RSS et ultra-large bande (UWB) TOA acquises dans les environnements indoor.

Ces mesures ont été exploitées pour :

- Développer des modèles paramétriques appropriés pour le biais NLOS et le bruit ;
- Estimer les valeurs des paramètres apparaissant dans ces modèles ;

- Evaluer la précision des techniques de localisation sur carte en se basant sur les modèles proposés.

L'amélioration de la précision de localisation est fournie par des algorithmes de localisation optimaux basés sur la nouvelle modélisation de la carte.

Le modèle de la carte proposé a les caractéristiques suivantes :

- ✓ La prise en considération de bords NLOS qui affecte les mesures dans les caractéristiques géométriques de la carte.
- ✓ Il peut être utilisé dans les systèmes de localisation basé sur des techniques (TOA, TDOA, RSS mais non AOA) où leurs signaux radio se propagent principalement par les obstacles.
- ✓ Il contient quelques paramètres à estimer à partir de mesures;
- ✓ même si sa validité est évaluée pour des mesures de basse fréquence à bande étroite de RSS et pour des mesures de TOA, son utilisation peut être envisagée pour d'autres technologies, comme réseau local sans fil (TOA / TDOA) ou même des technologies non-radio (ultra-sound), car il ne repose pas sur des propriétés spécifiques à la technologie;
- ✓ Des fonctions de vraisemblance sur la base de cela peuvent être utilisées dans des systèmes de navigation (où les agents mobiles sont considérés).

La figure 2.21 présente un exemple de modèle d'une carte réalisé pour localiser un seul agent mobile qui figure sur la carte par un cercle bleu, en utilisant 6 nœuds ancrés (anchors) (carrés verts) fonctionnant sur une carte bornée (le support  $\mathcal{R}$  est identifié par la zone grise). La présence d'un lien LOS (ou NLOS) entre l'agent et un nœud ancre est mise en évidence par une ligne continue (ou en pointillés, pour NLOS), à noter que les conditions de propagation empêchent l'établissement d'une liaison sans fil entre l'agent et les ancres 4 et 5.

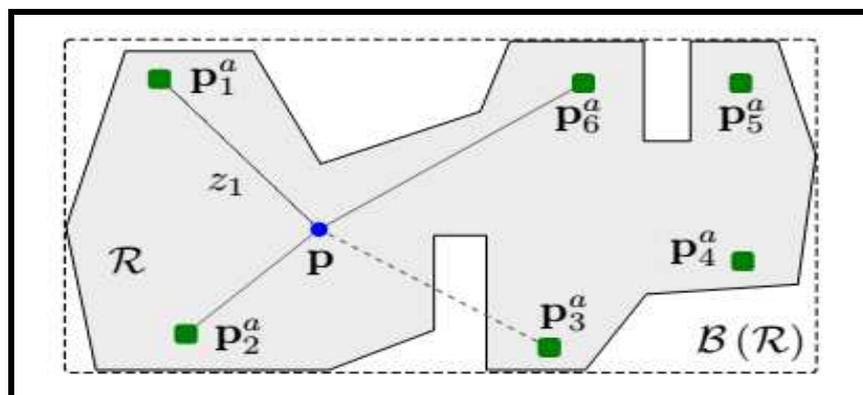


Fig 2.21 : Un modèle d'une carte (Map-Aware) [48].

Enfin, la précision du modèle proposé est évaluée et comparée à celle offerte par ses homologues (sans carte). Les résultats numériques montrent que lorsque la qualité des mesures acquises est faible, la modélisation de la carte peut améliorer la précision de localisation jusqu'à 110% dans certains scénarios.

## 2.4 Classification des approches hybrides de localisation

Afin de mieux comprendre le principe des approches hybrides existantes pour la localisation, et bien distinguer les une des autres, on propose une classification qui se compose de quatre classes où :

- ✓ **La Classe 1** : Comporte les systèmes utilisant plusieurs senseurs de mêmes types de senseurs ;
- ✓ **La Classe 2** : Comporte les systèmes utilisant plusieurs senseurs mais de types différents: On qualifie de telles approches de fusion de senseurs ;
- ✓ **La Classe 3** : Comporte les systèmes basés sur des approches (filtre de Kalman + markoviennes,..... par exemple) coopératives avec les deux types précédents ;
- ✓ **La Classe 4** : Comporte les systèmes basés sur une coopération de systèmes différents utilisant indifféremment avec les deux premiers types.

La table 2.6 présente la classification des approches hybrides que nous proposons pour la localisation.

<i>Classe de systèmes</i>	<i>Systèmes appartenant à cette classe</i>	<i>Type de senseurs utilisés</i>	<i>Coopération avec</i>
<i>Classe 1</i>	/	/	/
<i>Classe 2</i>	/	/	/
<i>Classe 3</i>	[43]	Anchor nodes + Non- Anchor nodes	RSSI + Inertiel information + Filtre de Kalman.
	[36]	Anchor nodes + Non- Anchor nodes	Harmony Search + procédure locale de recherche.
	[37]	Anchor nodes + Non- Anchor nodes	RSSI + Least Square method.
<i>Classe 4</i>	[48]	Anchor nodes	Map-Aware + TAO + RSS.
	[34]	Mobil terminals	PR+ RTT + RSS +Filtre de Kalman.
	[46]	Anchor nodes + Non- Anchor nodes	RSSI + AOA + Centroid Algorithme.
	[45]	/	Fingerprinting + Trilatération.
	[44]	/	Fingerprinting + Trilatération + Wi-Fi + RSS
	[42]	RFID	RFID + Wi-Fi + vision.
	[41]	Mobile Phone	AGPS + Wi-Fi + Cell-ID + Carte de mobilité.
	[26]	Mobile Phone	GPS + WLAN
	[39]	Terminaux mobiles	RSSI + TOA +TDOA.
	[40]	Anchor nodes + Non- Anchor nodes	APS + PDM
	[38]	Acoustic Sensors	AP + EM
	[35]	Anchor nodes + Non- Anchor nodes	CMDS + PSO
[21]	/	E-TOA + E-AOA	

*Tableau 2.6 : Classification des approches hybrides de localisation.*

A partir de cette classification, nous remarquons que la majorité des approches hybrides proposées dans la littérature pour la localisation appartiennent à la classe 3 et 4, c.-à-d., qu'elles sont basées sur une coopération de systèmes différents et utilise aussi plusieurs types de filtres. Les résultats expérimentaux de l'évaluation de ces approches ont montrés la performance de l'hybridation de plusieurs techniques de localisation pour une meilleure localisation (positionnement) par rapport à l'utilisation d'une seule technique isolée.

## ***2.5 Conclusion***

Dans ce chapitre, nous avons présenté plusieurs travaux existants dans la littérature pour l'hybridation de techniques et / ou technologies de localisation. Chacune d'elles est proposée afin de surmonter les inconvénients de certaines techniques (technologies), et / ou pour l'amélioration de la précision de positionnement.

Nous avons noté aussi qu'aucune approche parmi les approches hybrides étudiées ne garantie la localisation pervasive des personnes ou des objets, sauf l'approche ABL [26] et qui a prouvée une bonne précision. De plus, ces approches sont caractérisées par certains inconvénients et un cout important d'infrastructures nécessaires pour leurs fonctionnements,

Les futurs terminaux mobiles devront posséder plusieurs moyens leurs permettant de se localiser s'ils veulent d'une part de se localiser dans tous les types d'environnements, et d'autre part obtenir la meilleure précision possible suivant les environnements dans lesquels ils évoluent.

Nous proposons dans le prochain chapitre, une nouvelle approche, appelée HTL, permettant l'hybridation de certaines techniques et / ou technologies de localisation afin de concevoir un système de positionnement pervasif qui garantit la localisation des personnes ou des objets n'importe où et n'importe quand en assurant une large couverture indoor et outdoor.

# *Chapitre*

## **3. HTL : UNE NOUVELLE APPROCHE POUR LA LOCALISATION.**

### ***3.1 Introduction***

Les méthodes de localisation ont pris un essor important dans de nombreuses activités humaines. Connaître sa position a toujours été une préoccupation de l'homme qui a développé, au fil du temps, les moyens nécessaires pour s'orienter et se déplacer au bon endroit. Un service de localisation omniprésent qui fonctionne de façon satisfaisante dans les deux scénarios intérieur et extérieur n'est pas encore disponible.

Des approches plus sophistiquées favorisant l'hybridation de différentes techniques afin d'augmenter la précision de l'estimation, et à éliminer les erreurs causées par des facteurs émergents dynamiques tels que les interférences et autres, et pour fournir une conception tolérante aux pannes et fiable.

Ce chapitre a pour objectif de proposer une approche de localisation en se basant sur les avantages et les inconvénients du système ABL[26] présenté dans le premier chapitre, afin d'améliorer la localisation outdoor et indoor et garantir aux utilisateurs un système de positionnement pervasif.

### ***3.2 Notre objectif***

Toutes les techniques de localisation ne sont pas adaptées à tous les milieux. Par exemple la technique Angle Of Arrival (AOA) est inadaptée aux environnements dans lesquels de nombreux multi-trajets sont présents. Le problème de couverture des réseaux est aussi un frein quant à la bonne localisation des personnes et équipements en toutes circonstances. Une combinaison de plusieurs solutions technologiques permettra de garantir une couverture du service de localisation plus importante que celle obtenue par chacune des technologies individuellement, avec une meilleure qualité sur l'estimation de la position du mobile

(personne ou autre). Alors, une combinaison efficace des différentes informations de localisation garantie une localisation disponible à tout moment, et en tout lieu.

Le travail accompli dans ce projet propose une approche pour la combinaison de divers moyens de localisation pour former un compromis entre couverture du système, disponibilité du service et précision de la localisation, avec une comparaison des performances par rapport à chacune des technologies prises individuellement. Cette approche permettra d'identifier de nouvelles pistes quant à l'évolution que devra prendre la localisation, car les capteurs de localisation seront bientôt disponibles pour les personnes à travers leur téléphone mobile ou leur assistant personnel.

### ***3.3 Présentation de l'approche ABL à améliorer***

Notre nouvelle approche proposée pour le positionnement est basée sur l'amélioration de l'approche ABL « Always Best Located » [26]. A notre connaissances, c'est la seule approche qui garantie un service de positionnement continu, n'importe où et n'importe quand ; avec une précision meilleure que les autres approches. Dans cette section, nous présentons le principe de l'approche ABL et les résultats obtenus dans son expérimentation qui valident cette approche pour un positionnement ubiquitaire.

L. Reyero, G. Delisle proposent une combinaison entre les systèmes GPS, WLAN et l'algorithme de détection de place [26] sous un concept nommé Always Best Located (ABL) afin de concevoir un système de positionnement pervasif (indoor et outdoor), et garantir une meilleur précision de localisation dans n'importe quel environnement. Le premier composant de cette hybridation est un algorithme de détection de places, basé sur la technologie WLAN. Le GPS est utilisé comme le second composant afin de garantir une meilleure précision et une couverture dans les environnements outdoor. Finalement, le troisième composant est l'algorithme de positionnement WLAN qui est utilisé dans les secteurs indoor inconnus et dans l'outdoor quand le GPS est non disponible.

Une telle hybridation a été choisie à partir d'une étude (en termes de précision et de couverture) des quatre technologies principales de localisation : (GPS, GSM, WLAN, et Bluetooth), qui a conduit à sélectionner les technologies les plus complémentaires.

Les résultats obtenus dans cette étude ont montrés que le GPS et WLAN offrent une couverture complémentaire dans de nombreux environnements de la ville de Montréal, où le GPS assure la bonne localisation en outdoor, et WLAN pour la localisation en indoor et aux centres urbains.

Le système de positionnement hybride proposé en combinant les trois technologies a été établi en développant un algorithme capable de choisir la méthode de positionnement la plus précise selon les circonstances. La première méthode de positionnement a utilisé des points d'accès WLAN, et des algorithmes existants de détection de places pour identifier la salle dans laquelle l'utilisateur est actuellement situé. Si aucune salle ne pourrait être identifiée, le GPS sera utilisé en tant que deuxième méthode de positionnement. La localisation par WLAN a été utilisée quand le GPS est indisponible, tel que dans les centres urbains (intra-bâtiments). Des algorithmes de découverte ont été développés pour localiser automatiquement les points d'accès WLAN.

En conclusion, toutes ces méthodes de positionnement ont été intégrées dans un seul système de positionnement. Cette hybridation a prouvé une bonne couverture indoor et outdoor.

### **3.3.1 Le positionnement par GPS**

Cette technologie est utilisée pour estimer la position de l'utilisateur en outdoor, car ce système de positionnement offre une bonne précision en outdoor (inférieure de 10m), et garantit le suivi et la localisation de l'utilisateur n'importe où il peut se rendre en extérieur. Mais le major inconvénient du GPS est qu'il n'est pas disponible dans la plupart des environnements indoor, où la précision sera plus de 50 m. Pour cela, on utilise d'autres techniques de positionnement afin de localiser l'utilisateur dans les environnements indoor comme les centres urbains et intra-bâtiment, avec une précision meilleure que celle fournie par le GPS.

### **3.3.2 Le positionnement par l'algorithme de détection de places**

Cet algorithme diffère des autres, car il ne calcule pas la position du mobile comme une coordonnée mais comme une place reconnue parmi une liste de places prédéfinies. Il fonctionne en deux phases :

#### **➤ 1ere phase : Définition des places**

Cette phase consiste à définir un profil pour chaque place afin qu'elle soit reconnue. Chaque profil contient une signature de la place qui est unique et qui le différencie de tous les autres. Cela peut être créé à partir des mesures de l'intensité du signal, où ce profil contient une liste de valeurs de signaux *RSS* associés à chaque point d'accès (*i*) détecté à partir de la place en question.

Ce modèle est présenté par l'expression suivante :  $f_{l,i}(x) = P(x/l)$ , qui donne comme résultat la probabilité qu'un point ( $i$ ) est mesuré avec *signal strength*  $x$  dans la place ( $l$ ). Le profil de la place ( $l$ ) est l'ensemble de modèles a obtenu chaque point d'accès détecté dans la place ( $l$ ).

➤ **2eme phase : Identification d'une place**

Cette phase consiste à identifier la place de l'utilisateur parmi la liste des places prédéfinies dans la première phase. L'algorithme compare les mesures *RSS* actuelles du point d'accès WLAN avec les profils des places, pour calculer la probabilité que l'utilisateur soit localisé dans une place ( $l$ ). L'utilisateur est supposé localisé dans la place dont la probabilité est la plus élevée. Pour cela, on calcul la probabilité  $P(L/O)$  où :

$L$  : est l'évènement correspondant à la présence de l'utilisateur dans la place ( $l$ ) ;

$O$  : est l'évènement correspondant aux mesures *RSS* actuelles.

$P(L/O)$  est mesurée en utilisant l'expression suivante :  $P(L/O) = \frac{P(O/L)}{P(O)}$  Où,  $O_i$  : est le

*signal strength* mesuré pour le point d'accès ( $i$ ), et  $P(O)$  : est une constante pour n'importe quelle place  $l$ .

$P(O)$  sera écarté et nous calculons seulement  $P(O/L)$ , qui est la probabilité d'obtenir les mesures WLAN courantes à la place  $l$ .

$P(O/L)$  est calculé par l'expression suivante :  $P(O/L) = \prod_{i=1}^m f_{l,i}(O_i)$

Ce qui est équivalent au calcul du produit de la probabilité de mesurer chaque point d'accès ( $i$ ) avec un *signal strength* ( $O_i$ ) à la place  $l$ .

$P(O/L)$  est mesuré pour chaque place ( $l$ ), et l'utilisateur est supposé localisé dans la place avec la probabilité la plus élevée.

### 3.3.3 Le positionnement par WLAN

Le positionnement par WLAN est utilisé pour estimer la position absolue de l'utilisateur (latitude, longitude) quand l'utilisateur est dans un espace privé de la couverture GPS et de places définies par l'utilisateur. Cette méthode utilise la force de signal (*Signal Strength*) des points d'accès voisins (à proximité) pour calculer la position de l'utilisateur en se basant sur l'algorithme Centroid. La position des points d'accès détectés doit être connue pour que cet

algorithme puisse être utilisé. Généralement, la localisation des points d'accès doit être manuellement découverte par la conduite dans chaque rue.

Afin d'éviter cette phase et la perte de ce temps intensif, des algorithmes de découverte automatique ont été conçus, permettant au terminal mobile de construire sa propre BDD des points d'accès connus, ces algorithmes ont été exécutés en parallèles avec les opérations de positionnement. Les nouveaux points d'accès détectés seront insérés dans la BDD et peuvent être immédiatement utilisés par les algorithmes de positionnement.

Deux types d'algorithmes ont été conçus. Le premier s'appuie sur le GPS pour déduire la position des points d'accès à proximité. Le second algorithme est capable de fonctionner indépendamment du GPS par la découverte des positions des points d'accès dans les secteurs privés de la couverture GPS, telle qu'à l'intérieur des bâtiments.

### ***3.3.3.1 L'algorithme de découverte avec GPS***

Cet algorithme recherche périodiquement des points d'accès à proximité, chaque fois qu'un point d'accès est détecté sa force du signal est mesurée et associée à la position GPS actuelle. Un point d'accès est alors supposé être situé où il a été détecté avec la plus forte intensité du signal (Strongest Signal Strength). Cet algorithme fonctionne bien et assure une simple découverte des points d'accès quand la couverture GPS est disponible, dans le cas contraire un autre type d'algorithme sera utilisé.

### ***3.3.3.2 L'algorithme de découverte sans GPS***

La découverte sans GPS est réalisée en utilisant un algorithme fonctionnant en trois étapes.

#### ***A. Création d'un réseau maillé de liens***

Elle consiste à créer un réseau maillé des liens de proximité qui représentent la topologie des points d'accès WLAN dans l'environnement. Dans cette étape, l'algorithme recherche périodiquement les points d'accès à proximité. Si deux points d'accès ont été détectés simultanément ou à un petit intervalle de temps, une liaison de proximité est créée entre eux. Le lien de proximité est seulement une information virtuelle qui signifie que les deux points d'accès WLAN sont proches les uns des autres, en effet, si deux points d'accès sont détectés simultanément cela signifie que leurs couvertures chevauchent (Overlaps); par conséquent, ils sont situés à une distance proche l'un de l'autre.

En plus, chaque lien de proximité est spécifié par un coût qui représente une estimation de la distance séparant les deux points d'accès. Ce coût est calculé comme la somme de la distance séparant l'utilisateur du point 1 ( $d_1$ ) et celle séparant l'utilisateur du point 2 ( $d_2$ ). L'expression du coût est donnée par l'expression suivante :

$$c = d_1 + d_2 = d_0 * 10^{\left(\frac{P_0 - P_1}{10^\mu}\right)} + d_0 * 10^{\left(\frac{P_0 - P_2}{10^\mu}\right)}$$

$P_1$  et  $P_2$  sont les forces du signal mesurées pour les points d'accès (1) et (2), les autres variables ont été empiriquement choisies. Chaque fois que ces deux points d'accès sont simultanément détectés, le cout sera calculé à nouveau, et seulement sa valeur minimale sera enregistrée. Certains de ces points d'accès ont une position connue, obtenue en utilisant l'algorithme de découverte avec GPS et d'autres ont une position inconnue car ils sont détectés hors de la couverture GPS. Ces liens qui ont relient des points d'accès avec des positions connues aux points d'accès avec des positions inconnues sont systématiquement créés quand l'utilisateur se déplace dans et hors la couverture GPS. Donc, l'algorithme de découverte sans GPS crée un réseau maillé de points d'accès couvrant un espace (secteur) hors de la couverture GPS.

### **B. Calcul du plus court chemin**

Il consiste à calculer, pour chaque point d'accès avec position inconnue, le plus court chemin vers les points d'accès avec positions connues, en utilisant l'algorithme de Dijkstra [49]. Le cout du plus court chemin est aussi calculé. D'une façon générale, cette étape consiste à trouver pour chaque point d'accès avec position inconnue les points de références qui seront utilisés afin de déduire sa position.

### **C. Calcul de la position du point d'accès**

Il consiste à calculer la position des points d'accès avec des positions inconnues en utilisant les informations obtenues dans la 2<sup>ème</sup> étape. Un algorithme de type Centroid est utilisé afin de déduire la position de chaque point d'accès inconnu, comme la moyenne pondérée de la localisation des points d'accès connus qui lui sont liés. Le poids donné à chaque point d'accès connus est équivalent au cout du plus court chemin à ce point d'accès comme calculé dans la 2<sup>ème</sup> étape.

Cet algorithme permet au processus de découverte de déduire automatiquement la position des points d'accès à proximité même dans les zones hors de la couverture GPS. Les points d'accès détectés et leurs localisations estimées sont enregistrés dans une BDD en plus de la couverture estimée de ce point d'accès ; le maximum Signal Strength mesuré et le nombre total de détections de ce point d'accès. La couverture estimée est calculée comme étant la distance entre la position estimée du point d'accès et la position de la détection la plus éloignée de ce point.

La BDD des points de référence sera utilisée ultérieurement par l'algorithme de positionnement WLAN pour localiser l'utilisateur quand le GPS est indisponible. Un algorithme de type Centroid est utilisé pour localiser la position de l'utilisateur comme une moyenne pondérée des localisations des points de référence détectés. Cet algorithme calcul le poids donné à l'un des points de référence en fonction de la force du signal reçu à partir de ce point ; sa couverture et le nombre total de détection de ce point. Donc, la position de l'utilisateur est calculée par l'expression suivante :

$$x = \sum_{i=1}^{i=N} w_i x_i, y = \sum_{i=1}^{i=N} w_i y_i \quad \text{Où :}$$

$N$  : le nombre de points d'accès ayant une position connue ;

$I$  : un point d'accès donné parmi les  $N$  localisés ;

$X_i$  : latitude du point d'accès  $i$

$Y_i$  : longitude du point d'accès  $i$  ;

$W_i$  : le poids associé à ce point d'accès  $i$ .

Le poids  $w_i$  est calculé en fonction de la distance séparant l'utilisateur du point d'accès  $i$ , et en fonction de la couverture  $C_i$  estimée pour le point d'accès  $i$  et aussi en fonction d'une estimation de la fiabilité du point d'accès  $f_i$  comme il est représenté par l'expression

s suivante : 
$$w_i = \frac{f_i}{d_i * c_i}$$

- La variable  $C_i$  est la couverture estimée pour le point d'accès  $i$  tel qu'il a été stocké dans la BDD des points d'accès connus.
- La variable  $f_i$  est une estimation de la fiabilité des données relatives au point d'accès  $i$ , stockée dans la BDD des points d'accès connus. Un point d'accès est considéré comme avoir des données fiables s'il a été détecté un nombre de fois suffisant pendant la phase de découverte. Un point d'accès qui est détecté une seule fois pendant la phase de découverte peut avoir une estimation de localisation et de couverture largement erronées.

La variable  $f_i$  est donnée par l'expression suivante :

$$f_i = \max(\text{détection } i, f_{\max})$$

Où *détection*  $i$  : est le nombre de détection du point d'accès  $i$  pendant la phase de découverte.

$f_{\max}$  : est un seuil réglé à 20, au dessus desquels, tous les points d'accès sont jugés fiables

(Un point d'accès est considéré comme avoir des données fiables s'il a été détecté un nombre de fois suffisant pendant la phase de découverte.).

Cette expression a l'effet pour diminuer le poids associé à chaque point d'accès détecté.

La distance  $d_i$  est calculée comme suit :

$$d_i = d_0 * 10^{\frac{P_{i\max} - P_i}{10 * \delta}}$$

Où :

$P_i$  : est le signal strength du point d'accès  $i$  mesuré par le terminal de l'utilisateur.

$P_{i\max}$  : est le *max RSSI* mesuré par le point d'accès  $i$  tel qu'il est sauvegardé dans la BDD des points d'accès connus. Les variables :  $d_0$  et  $\delta$  sont empiriquement choisies.

Le schéma de la figure 3.1 présente les opérations du prototype ABL.

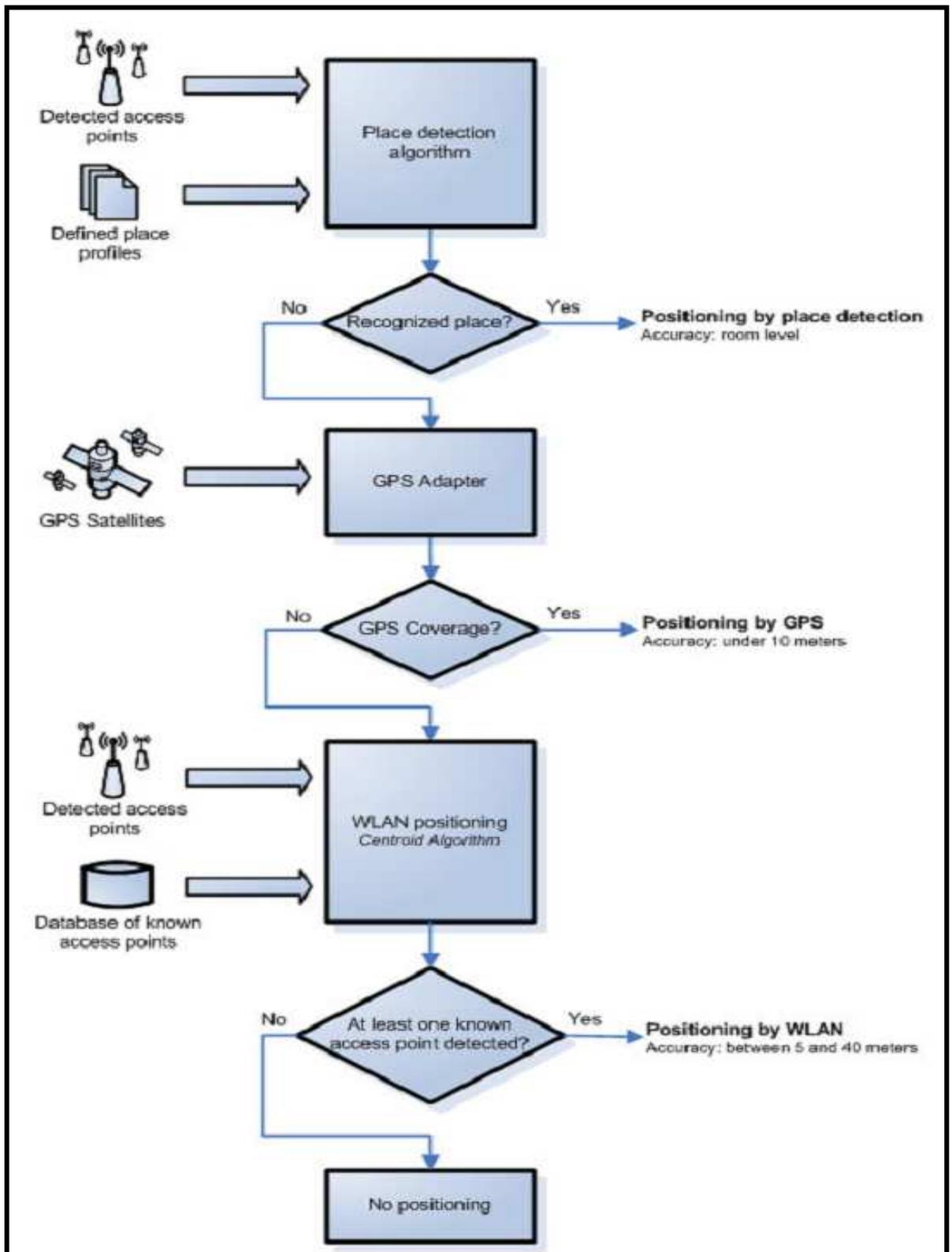


Fig 3.1 : Les opérations de système Always Best Located (ABL) [26].

### 3.4 La transition indoor – outdoor

Le prototype ABL a été testé dans des situations réelles, dans le centre ville de Montréal. La transition entre l’environnement indoor et outdoor a été examinée, pour valider la

continuité du service de positionnement. La première remarque était l'opération appropriée des algorithmes de découverte. La découverte avec le GPS est fiable en extérieur, et juste un ou deux passages à travers un bâtiment sont suffisants pour découvrir la position des points d'accès en intérieur.

Comme résultat, le WLAN peut être utilisé comme un relais au GPS dans les zones où ce dernier n'est pas disponible, afin de fournir un service de positionnement continu. Par exemple, le prototype va automatiquement passer (switch) vers le positionnement par WLAN quand l'utilisateur entre dans un bâtiment et revenir vers le GPS une fois que la couverture GPS est récupérée. Donc le prototype garantit un service de positionnement ininterrompu. La précision et la couverture ont été mesurées dans cinq environnements distincts avec une densité de population variée (centre ville, résidentiel, suburbain, campagne, et les autoroutes). La couverture a été mesurée aussi en indoor dans différents types de bâtiments, y compris le campus, bibliothèque, centres commerciaux, bureaux et centre de transport. Les résultats prouvent que le GPS offre la meilleure couverture et précision en outdoor, par contre dans les environnements urbains denses l'erreur de localisation peut être plus de 50 mètres. D'un autre côté, il a été montré que WLAN est un bon choix pour le positionnement dans les environnements urbains, où la précision est moins de 50 mètres avec une couverture complète.

Selon les résultats expérimentaux, aucune des technologies étudiées ne peut fournir une précision et un service de positionnement omniprésent toute seule. Le GPS et le WLAN fournissent une couverture complémentaire et peuvent être combinés afin de créer un système de positionnement ubiquitaire ; c'est la philosophie de l'approche ABL « Always Best Located » proposée pour garantir un service de positionnement continu et précis dans n'importe quel endroit où l'utilisateur peut se rendre. Le terme « ABL » a été défini comme la capacité de sélectionner automatiquement la meilleure méthode de positionnement disponible. Donc, le prototype a la capacité de commuter automatiquement entre les trois méthodes qu'il intègre (Place detection, GPS et WLAN) afin d'offrir la meilleure précision et une plus large couverture. Le positionnement par WLAN a fourni une bonne précision quand il a utilisé la BDD des points d'accès localisés en utilisant l'algorithme de découverte basé sur GPS.

Afin de valider le système ABL, une expérimentation a été faite. L'objectif était de mesurer la couverture assurée par le prototype proposé durant les activités de l'utilisateur de tous les jours. Pour cela, le prototype a été fourni aux trois participants pour une durée d'une semaine.

Le prototype doit enregistrer chaque seconde la position de l'utilisateur par les trois méthodes de positionnement et par leurs combinaison pendant toute la semaine. Initialement, le prototype avait une BDD vide de points d'accès connus. Ces points devraient être découverts quand l'utilisateur se déplace dans ses activités quotidiennes. En outre, aucune place n'avait été définie. Ils ont demandé aux participants de définir au moins deux places, l'un à la maison et l'autre au travail (pour que l'algorithme « place detection » puisse fonctionner).

Les participants (1) et (2) représentent un profil similaire, ils vivent dans une maison en une zone suburbaine et utilise leurs voitures pour aller travailler au centre ville de Montréal. Ils reviennent tôt à la maison et ne quittent pas la maison par la suite. Le participant (3) vit dans un petit immeuble résidentiel dans un quartier de densité moyenne. Il marche pendant 30 minutes et il prend, par la suite, un métro pendant une heure pour se rendre au travail au centre ville.

Le prototype ABL a été développé comme une application pour un pocket PC en utilisant Microsoft visuel studio 2005 et le Net Compact Framework. Il a été déployé sur les terminaux HP iPack hw 6945 qui intègrent à la fois GPS et WLAN.

Les résultats présentés dans la table 3.1 montrent la couverture mesurée pour chaque méthode de positionnement et pour leurs combinaison dans le prototype ABL.

<i>Méthode de positionnement</i>	<i>Participant 1</i>	<i>Participant 2</i>	<i>Participant 3</i>
<i>Place detection</i>	91%	93%	88%
<i>GPS positioning</i>	37%	45%	6%
<i>WLAN positioning</i>	91%	87%	88%
<i>ABL positioning</i>	97%	97%	94%

*Tableau 3.1 : les résultats expérimentants de l'hybridation proposée. [26]*

« Place detection » a donné environ 90% de couverture pour chaque participant. Comme tous les participants n'ont défini que deux places (la maison et le travail) cela signifie simplement qu'ils ont consacré environ 90% de leurs temps à la maison ou au travail.

La couverture GPS a atteint 40% pour les deux premiers participants, mais seulement 6% pour le 3<sup>ème</sup>. Ces faibles résultats confirment que le GPS seul n'est pas adapté aux applications

des utilisateurs finaux, car il n'est pas disponible dans les endroits où l'utilisateur passe la majorité du temps. C'est exactement ce qui est observé pour le participant (3) où il était hors de la couverture GPS à la fois dans la maison et au travail, et il était disponible uniquement pendant le déplacement à l'extérieur.

En comparaison, les deux premiers participants ont obtenu des résultats beaucoup plus élevés seulement parce qu'ils ont obtenu une couverture sporadique du GPS, parce que à la maison ils ont placé leurs terminaux mobiles à proximité d'une fenêtre.

La couverture assurée par le positionnement WLAN est mesurée à proximité de 80%, ce qui confirme que les points d'accès sont suffisamment nombreux pour assurer une vaste couverture.

Le prototype ABL combinant les 3 méthodes de positionnement fournit une couverture d'environ 95% pour tous les participants. 97% de couverture est atteint pour les participants (1) et (2), les 3% pendant lesquelles une localisation ne peut pas être calculée, représente seulement une période de temps de 45 minutes dans une journée. Donc, le prototype ABL est capable de localiser avec succès les participants (1) et (2) pendant 23 heures et 15 minutes par jour.

Les résultats obtenus pour le participant (3) sont légèrement inférieurs avec une couverture de 94% représentant une période d'une heure et 30 minutes par jour sans couverture. Cela peut être justifié par la période de déplacement du participant pour aller travailler par métro (subway) pendant approximativement 45 minutes par jour, une période où aucun signal sans fils ne peut être reçu.

Le système ABL est validé, où les résultats des expériences ont montré que l'hybridation proposée pour le positionnement peut maintenir la localisation de l'utilisateur pendant 95% du temps, c.à.d. 22 heures et 45 minutes par jour.

### ***3.5 Les inconvénients du prototype ABL***

➤ Le manque de couverture concernant la méthode « Place detection », car elle ne fonctionne que lorsque l'utilisateur est situé dans l'une des places connues (prédéfinies dans la BDD). Donc, si l'utilisateur se trouve dans un autre endroit à l'intérieur d'un bâtiment par exemple hors des places enregistrées dans la BDD associée à cette méthode pour le positionnement indoor, alors la position de l'utilisateur ne sera pas obtenue.

- L'intervention de l'utilisateur dans la définition des places à enregistrer dans la BDD (créer un profil pour chaque place afin d'être reconnue) au lieu d'avoir un système de localisation automatique sans intervention de l'utilisateur.
- « Place detection » calcule la position de l'utilisateur en indoor en se basant sur la BDD des places connues. Si la BDD est volumineuse, le nombre d'itérations sera considérablement augmenté. Ce qui augmente le temps de recherche augmente aussi. Par conséquent, le positionnement sera long.
- Le fonctionnement de la méthode « Place detection » nécessite que la BDD contient au moins un enregistrement. Dans le cas contraire (BDD vide), cette méthode ne peut s'exécuter. Le positionnement indoor ne peut alors s'effectuer par ABL.
- En plus, « Place detection » est basé sur la probabilité pour l'estimation de la position de l'utilisateur. Donc, la position estimée peut être erronée.
- La prise en compte des points d'accès dans le processus de localisation même ceux avec des valeurs RSSI très faibles, au lieu que ces points d'accès soient éliminés puisque leur prise en compte peut causer des erreurs dans le calcul de la position.

En conclusion, la méthode « Place detection » de ABL pour le positionnement indoor présente plusieurs inconvénients. Par conséquent, ABL ne fonctionne pas bien en indoor. Il est essentiel qu'un système de positionnement fonctionne correctement dans les environnements urbains, car c'est là où les utilisateurs passent la grande majorité de leurs temps.

Finalement, la possibilité de localiser l'utilisateur dans n'importe quel lieu où il peut se rendre, ouvrir de nouvelles perspectives de recherche en s'appuyant sur une position précise de l'utilisateur n'importe où et à tout moment. De nouvelles applications peuvent être développées afin de le servir mieux.

Dans cette recherche, nous proposons un système de localisation, dite ubiquitaire. Celui-ci est une amélioration du système ABL qui a plusieurs avantages. Le système que nous proposons sera capable de suivre le déplacement de l'utilisateur indoor comme outdoor avec la meilleure précision disponible.

Afin de surmonter les inconvénients du système ABL pour qu'il soit réellement pervasif, nous proposons l'intégration de la technologie RFID au lieu de la méthode « Place detection »

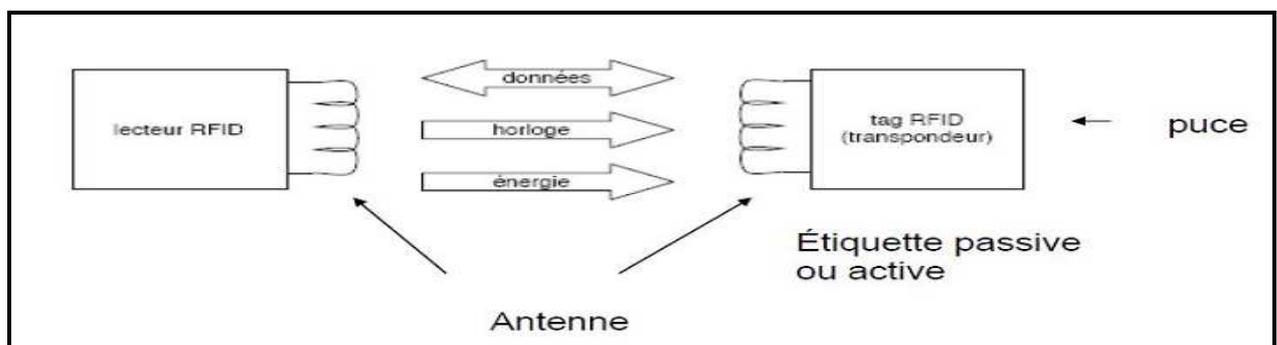
où la localisation des utilisateurs sera assurée par GPS et Galileo en outdoor et par WLAN et RFID en indoor. Nous proposons l'intégration des quatre technologies dans les Smartphones des utilisateurs.

Nous présentons, dans la section suivante (section 6), le principe de cette nouvelle approche hybride proposée pour le positionnement. Nous présentons, d'abord la technologie RFID et l'importance du téléphone mobile dans la vie quotidienne.

### 3.6 Principe des systèmes RFID

L'identification par radio fréquence ou RFID (Radio Frequency IDentification) permet d'identifier à distance des objets ou des individus à l'arrêt ou en mouvement et d'échanger avec eux des données en fonction des applications envisagées grâce à une étiquette émettant des ondes radio, attachée ou incorporée à l'objet ou à la personne. Les progrès des télécommunications et de l'électronique ont rendu possible le développement de cette technique en plein essor depuis quelques années. La technologie RFID permet la lecture des étiquettes même sans ligne de vue directe et peut traverser de fines couches de matériaux (peinture, neige, etc.).

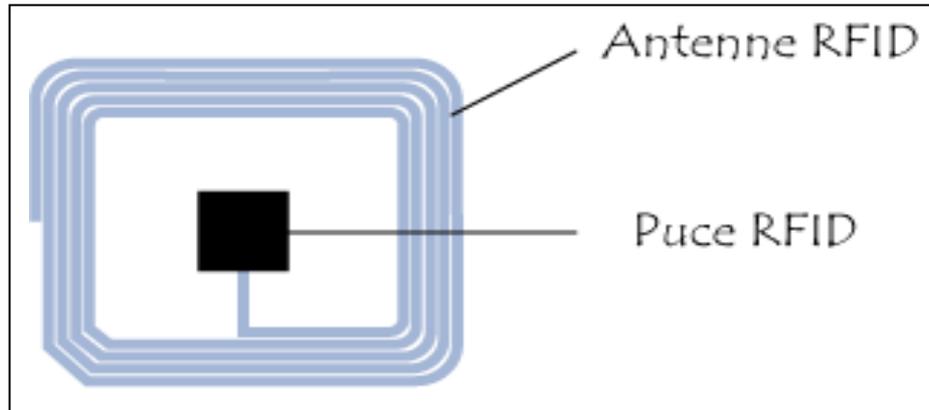
Dans tout système RFID, on retrouve les mêmes constituants de base. Ceux-ci ont été schématisés dans la figure 3.2 et expliqués dans les sections suivantes.



*Fig.3.2 : Le lecteur et le transpondeur sont les principales composantes de tout système RFID. [29]*

#### 3.6.1 L'étiquette radiofréquence

Une étiquette RFID (appelée parfois transpondeur) est composée d'une puce (en anglais « chip ») reliée à une antenne, encapsulée dans un support (*RFID Tag* ou *RFID Label*). Elle est lue par un lecteur qui capte et transmet l'information.



*Fig.3.3 : L'étiquette radiofréquence (transpondeur, étiquette RFID) [29].*

On distingue 3 catégories d'étiquettes RFID :

- ✓ Les étiquettes en lecture seule, non modifiables,
- ✓ Les étiquettes « écriture une fois, lecture multiple »,
- ✓ Les étiquettes en « lecture réécriture » [30].

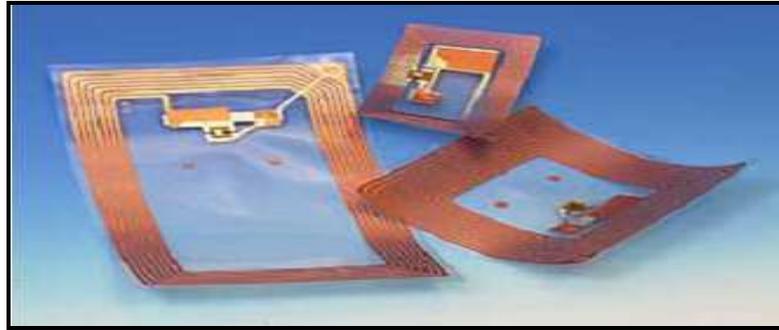
Une autre distinction peut être faite entre les tags inscriptibles et les tags uniquement lisibles. Les premiers peuvent recevoir de nouvelles informations en cours de route alors que les seconds ne peuvent que délivrer celles qu'ils renferment.

Par ailleurs, il existe deux grandes familles d'étiquettes RFID [31]:

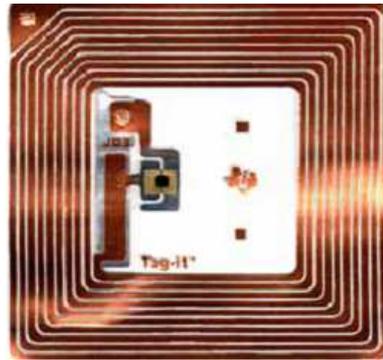
- **Les étiquettes actives** : reliées à une source d'énergie embarquée (pile, batterie, etc.). Les étiquettes actives possèdent une meilleure portée mais à un coût plus élevé et avec une durée de vie restreinte [30]. Les tags actifs contiennent une batterie interne qui permet à la puce d'être alimentée et de diffuser un signal à destination du lecteur.
- **Les étiquettes passives** : utilisant l'énergie propagée à courte distance par le signal radio de l'émetteur. Ces étiquettes à moindre coût sont généralement plus petites et possèdent une durée de vie quasi-illimitée. En contrepartie, elles nécessitent une quantité d'énergie non négligeable de la part du lecteur pour pouvoir fonctionner [30]. Les tags passifs n'ont pas de batterie, c'est le signal électromagnétique du lecteur qui active le tag et lui permet de fonctionner en y induisant un courant.

### 3.6.1.1 Le format des tags

On trouve des tags RFID de toutes formes et de toutes tailles. En voici quelques-unes, présentés dans les figures : 3.4, 3.5, 3.6 et 3.7.



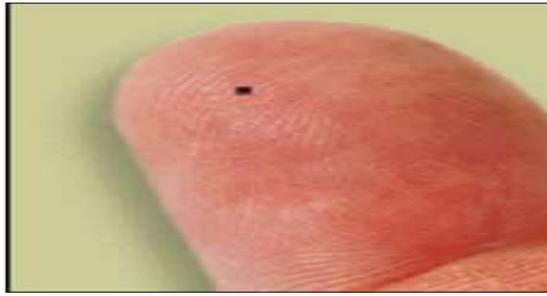
*Fig.3.4 : le transpondeur et l'antenne sont fins et souples, collés sur une auto collant. [32]*



*Fig.3.5 : le transpondeur au centre, entouré d'une antenne de cuivre bobinée. [32]*



*Fig. 3.6: Ce tag est conçu pour être injecté sous la peau des animaux. Il est moulé dans un tube de verre de 1 à 3 cm. [32]*



*Fig.3.7 : Les RFID peuvent être miniaturisés à l'extrême. Ces tags, fabriqués par Hitachi, mesurent  $0.25 \text{ mm}^2$  ( $0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ ) ; ils sont pratiquement invisibles. [32]*

### **3.6.1.2 Le lecteur**

Selon la technologie utilisée, le lecteur peut lire mais aussi écrire des données sur le tag. Il émet des ondes radio et des champs magnétiques, puis écoute les réponses des tags qui se trouvent dans son champ de lecture. Le lecteur contient typiquement un module radio (émetteur et récepteur) et une interface de contrôle. La plupart des lecteurs fournissent une interface supplémentaire pour transférer les données reçues à d'autres systèmes (PC, robots, etc.) [32].

La communication entre le lecteur et l'étiquette s'effectue en quatre temps [29] :

- 1) Le lecteur transmet par radio l'énergie nécessaire à l'activation du tag ;
- 2) Il lance alors une requête interrogeant les étiquettes à proximité ;
- 3) Il écoute les réponses et élimine les doublons ou les collisions entre réponses ;
- 4) Enfin, il transmet les résultats obtenus aux applications concernées.

### **3.6.1.3 La communication**

Quand le transpondeur, qui ne possède généralement pas d'alimentation propre, n'est pas dans le champ d'action d'un lecteur, il est totalement passif. L'énergie, les données et les pulsations d'horloge nécessaires à l'activation et au fonctionnement du transpondeur lui sont fournies par le lecteur. On distingue deux cas, qui peuvent se recouvrir : la communication par champs électromagnétiques et la communication par ondes radio.

➤ ***La communication par champs électromagnétiques***

Dans le cas des basses fréquences (moins de quelques MHz) un courant alternatif dans l'antenne du lecteur induit un courant dans l'antenne bobinée du tag, ce qui éveille et alimente la puce. La puce effectue les opérations pour lesquelles elle a été conçue, puis crée une modulation d'amplitude ou de phase sur la fréquence porteuse. Le lecteur reçoit ces informations, qu'il transforme en code binaire. Dans l'autre sens, du lecteur vers la puce, les informations circulent selon le même principe, par modulation sur la porteuse. Plus la fréquence est basse, plus le nombre de tours de l'antenne bobinée nécessaires à la création d'un voltage suffisant est important. Cela augmente la complexité et les coûts de fabrication [32].

➤ ***La communication par ondes radio***

Sur d'autres systèmes RFID, notamment si la fréquence utilisée dépasse quelques MHz ou que le tag se trouve au-delà d'une certaine distance du lecteur, les données ne peuvent plus être transmises par modulation ; on utilise alors la réflexion des ondes radio. L'électronique du tag modifie l'impédance de l'antenne, renvoyant une partie des ondes radio au lecteur. Le lecteur, doté d'un capteur très sensible, décode les données du tag d'après le type de réflexion reçue.

On distingue également les communications full duplex / half duplex et les communications séquentielles. En mode full et half duplex, le tag diffuse ses informations dès qu'il se trouve dans le champ du lecteur. À l'inverse, dans les procédures séquentielles, le tag qui se trouve dans le champ du lecteur est active brièvement, à intervalles réguliers [31].

### ***3.6.1.4 La portée et le couplage [32]***

On distingue trois types de couplages entre le lecteur et le tag. Le couplage est étroitement lié à la fréquence et à la portée du système, qui peut varier de quelques millimètres à plus de 15 m.

➤ **Close coupling systems** (« systèmes à couplage rapproché ») :

Ces systèmes ont une portée très faible, jusqu'à 1 cm. Ils fonctionnent avec des champs électromagnétiques, jusqu'à 30 MHz. L'énergie disponible est importante et permet l'utilisation d'un micro-processeur. On retrouve donc ces systèmes dans des applications qui

utilisent le chiffrement, comme le verrouillage de portes et les cartes avec des fonctions de paiement. Ces systèmes sont de moins en moins importants sur le marché.

➤ **Remote coupling systems** (« systèmes à couplage distant »)

La portée de ces systèmes va jusqu'à 1 mètre. Ils fonctionnent aussi avec des champs électromagnétiques, par induction. Ces systèmes représentent plus de 90% des systèmes RFID vendus actuellement. Les fréquences généralement utilisées sont 135 kHz et 13.56 MHz.

➤ **Long-range systems** (« systèmes longue portée »)

Ces systèmes portent à plus d'1 mètre. Les tags sont trop éloignés pour fonctionner par induction. En revanche, ils réfléchissent les ondes radio. Ces systèmes fonctionnent en UHF à 868 MHz, 915 MHz et sur les micro-ondes à 1.5 GHz et 5.8 GHz. La portée des transpondeurs passifs est de 3 mètres, tandis que les transpondeurs actifs, qui comportent une batterie, atteignent plus de 15 mètres.

Les avancées scientifiques permettent chaque année de diminuer la quantité d'énergie nécessaire à l'alimentation des étiquettes. Chaque année, les systèmes RFID peuvent être conçus avec une meilleure portée, puisque les étiquettes consomment moins à la même fréquence.

### **3.6.1.5 La mémoire**

Les capacités mémoire des transpondeurs RFID vont normalement de quelques bytes à plusieurs kilobytes. Le cas des « transpondeurs 1 bit » est particulier : une information binaire permet de signaler au lecteur deux états : « *le transpondeur est dans le champ* » et « *le transpondeur n'est pas dans le champ* ». C'est peu, mais c'est suffisant pour des fonctions de surveillance ou de signalement. Un transpondeur 1 bit n'a pas besoin de puce électronique, il peut être fabriqué à un coût très bas. Les transpondeurs 1 bit sont généralement utilisés en *Electronic Article Surveillance* (EAS) pour protéger les biens dans les magasins et les entreprises. Les marchandises qui n'ont pas encore été payées portent un tag, qui sera détecté par le lecteur installé à la sortie du magasin.

Les mémoires peuvent être en lecture seule, mais aussi en lecture/écriture. Dans les systèmes très simples, les données du transpondeur, en général un simple numéro de série, sont écrites sur la puce lors de la fabrication et ne peuvent pas être modérées.

À l'inverse, dans les systèmes plus complexes, le lecteur peut écrire des données sur le transpondeur. On utilise principalement trois types de mémoires :

- **Les EEPROMs** (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
- **Les FRAMs** (Ferromagnetic Random Access Memory)
- **Les SRAMs** (Static Random Access Memory).

Dans les systèmes programmables, les accès mémoire doivent être autorisés par la puce elle-même, en lecture comme en écriture.

### ***3.6.1.6 Les fréquences***

Les systèmes RFID génèrent et réfléchissent des ondes électromagnétiques ; ce sont donc des systèmes radio. Les systèmes RFID doivent notamment veiller à ne pas perturber le fonctionnement des autres systèmes radio : (télévision, services de secours, services radio maritimes et aériens, téléphones mobiles, etc.). On ne peut, en principe, utiliser que les plages de fréquences spécifiquement réservées aux applications industrielles, scientifiques ou médicales. Ces plages de fréquences sont appelées ISM (Industrial Scientific Medical). En plus des fréquences ISM, on utilise les plages de fréquences en dessous de 135 kHz. En effet, en raison de la basse fréquence de l'horloge, le transpondeur nécessite peu d'énergie, ce qui favorise une portée élevée.

Les principales plages de fréquences utilisées par les systèmes RFID sont les basses fréquences (125 et 134.5 kHz) et les fréquences ISM : 6.78 MHz, 13.56 MHz, 27.125 MHz, 40.68 MHz, 433.92 MHz, 869.0 MHz, 915.0 MHz (pas en Europe), 2.45 GHz, 5.8 GHz et 24.125 GHz. La plage de fréquences la plus utilisée est de loin 13.56 MHz (haute fréquence). Suivent ensuite 134.5 kHz (basse fréquence), puis 2.45 GHz (micro-ondes) et 868/915 MHz(UHF) [32].

## **3.6.2 Quelles applications pour les tags RFID ?**

Les tags RFID permettent de répondre à un grand nombre de besoins, les applications sont très nombreuses. Dans le domaine de la logistique industrielle tout d'abord, pour suivre les biens – containers, palettes, lots entre différentes sociétés ou à l'intérieur d'une usine ou d'un entrepôt. Dans la sécurité ensuite, pour l'identification des hommes (contrôle d'accès) ou des

marchandises (lutte contre la contrefaçon). Mais aussi dans divers secteurs de la vie courante comme la perception des péages, le paiement des entrées dans un parc de loisirs...

- Localisation de dossiers "papier" (médicaux, légaux, ...)
- Localisation d'équipements (centre de calcul, hôpital, ...)
- Identification et suivi de patients ;
- Identification et suivi du personnel ;
- Suivi de documents, d'échantillons, etc.

### **3.6.3 RFID : Avantages et inconvénients**

#### ***3.6.3.1 Avantages***

La capacité de mise à jour du contenu par les intervenants, le contenu des données stockées dans une étiquette radio fréquence va pouvoir être modifié, augmenté ou diminué par les intervenants autorisés (étiquettes en lecture et écriture multiple).

##### ***A. Une plus grande capacité de contenu***

Dans une étiquette radiofréquence une capacité de 1000 caractères est aisément stockable sur 1mm<sup>2</sup>, et peut atteindre sans difficulté particulière 10000 caractères. Dans une étiquette logistique apposée sur une palette, les différentes unités contenues et leurs quantités respectives pourront être enregistrées et lues.

##### ***B. Une sécurité d'accès au contenu***

Comme tout support numérique, l'étiquette radio fréquence peut être protégée par mot de passe en écriture ou en lecture. Les données peuvent être chiffrées. Dans une même étiquette, une partie de l'information peut être en accès libre, et l'autre protégée. Cette faculté fait de l'étiquette RFID, un outil adaptée à la lutte contre le vol et la contrefaçon.

##### ***C. Une plus grande durée de vie***

Dans les applications où un même objet peut être utilisé plusieurs fois, comme l'identification des supports de manutention, ou la consignation du contenant, une étiquette radio fréquence peut être réutilisée 1 000 000 de fois.

### ***D. Une plus grande souplesse de positionnement***

Avec l'étiquette radio fréquence, il est possible de s'abstraire des contraintes liées à la lecture optique, elle n'a pas besoin d'être vue. Il lui suffit d'entrer dans le champ du lecteur pour que sa présence soit détectée.

#### **3.6.3.2 Inconvénients**

##### ***a) Les perturbations induites par les étiquettes entre elles***

Dans de nombreuses applications, plusieurs étiquettes radio fréquences peuvent se présenter en même temps dans le champ du lecteur volontairement ou involontairement.

##### ***b) La sensibilité aux ondes électromagnétiques parasites***

Les systèmes de lecture RFID sont dans certaines circonstances sensibles aux ondes électromagnétiques parasites émises par des équipements informatiques (des écrans d'ordinateurs) ou des systèmes d'éclairages plus généralement par les équipements électriques. Leur emploi doit donc être testé en tenant compte de l'environnement [29].

### **3.6.4 La localisation par la technologie RFID**

La technologie RFID est à la base une méthode d'identification automatique. Cette méthode est basée sur l'exploitation des "étiquettes radio", implémentées sous forme passive ou active. En plus des fonctions de lecture et d'écriture, ces étiquettes (puce) contiennent aussi un signal radio localisable qui permettrait de suivre l'individu tout le temps. Comme des psychotiques ou des présumés terroristes.

Deux méthodes de localisation sont possibles : la localisation d'un lecteur d'étiquettes RFID ou la localisation d'une étiquette RFID. Dans la première, le lecteur est attaché à l'objet à localiser et un ensemble d'étiquettes sont placées dans l'environnement à des positions connues, permettant à l'objet de s'auto-localiser. Dans le deuxième cas, c'est le réseau de capteurs qui localise une étiquette associée à un objet d'intérêt. Cette technologie a favorisé le développement d'une vaste gamme de systèmes de localisation [33].

### **3.6.5 Certains trouvent que c'est génial car ...**

- Une puce RFID est petite (comme un grain de riz), qu'on peut placer dans le corps humain. Elle permet de communiquer à distance avec un lecteur.

- Une puce RFID placée dans le corps fonctionne sans pile, uniquement grâce aux différences de chaleur du corps.
- Avec une puce qui contienne le dossier médical, si on arrive inconscient à l'hôpital, les médecins savent tout de suite lire les données qui indiquent qui nous sommes et notre état de santé. C'est important en cas de diabète par exemple.
- Les puces en médecine peuvent déjà pallier une déficience d'organes. Un stimulateur cardiaque, par exemple.
- Avec des implants, on peut tout de suite retrouver les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer qui s'enfuient ou s'égarant.
- Avec une puce qui remplace les clés de voiture ou de l'habitation, moins de risque de les perdre ou de se les faire voler.
- On pourrait pucer les bébés. De cette façon, en cas d'enlèvement d'enfants, on les retrouve facilement.
- Pour protéger des documents secrets, l'accès à l'endroit où ils sont rangés, est uniquement possible pour les personnes à qui l'on a implanté une puce qui ouvre l'accès de l'entrée à cette zone.
- Pour protéger la société, grâce aux puces, on pourrait identifier les personnes porteuses du virus du sida, les demandeurs d'emploi, les immigrants, les travailleurs saisonniers pour suivre leurs déplacements et leurs faits et gestes...
- Pour réguler l'utilisation des armes à feu, on pourrait vendre des armes qui se déclencheraient uniquement avec une puce implantée dans la main du propriétaire.
- Si tout le monde était pucé, les morts et les blessés seraient vite localisés et identifiés en cas de catastrophe naturelle.
- Être contrôlé ou suivi en permanence n'est pas gênant pour les gens honnêtes qui n'ont rien à cacher.

### **3.6.6 Oui, mais d'autres pensent que ...**

- Une fois que la puce est implantée, c'est difficile de la retirer, sauf par une légère intervention chirurgicale.

- On a d'abord pucé les chiens, les vaches, les moutons... Puis petit à petit, on trouvera normal que les humains soient aussi pucés comme du bétail, comme des animaux. La traçabilité des humains...
- On n'a pas le droit d'attenter à la dignité de tous pour soi-disant en protéger certains.
- On n'est plus un humain quand une partie de notre cerveau est remplacée par une puce.
- Tout individu pourrait être contrôlé en permanence. C'est une atteinte à la liberté individuelle. Et un non-respect de la vie privée.
- À force d'être contrôlé en permanence, on va devenir fou. L'être humain a besoin de libertés.

### ***3.7 L'importance de téléphone mobile dans la vie***

Le téléphone portable est un moyen de communication sans fil, inventé et popularisé durant les années 70 qui est devenu très rapidement le moyen de communication le plus utilisé dans le monde. Aujourd'hui, le téléphone mobile possède d'autres fonctions que la communication en elle-même, et posséder un portable est quasiment devenu indispensable car il constitue pour les utilisateurs bien plus qu'un simple appareil de télécommunication.

Le téléphone portable à aujourd'hui prit une place très importante dans notre société. Cet appareil a révolutionné les moyens de communication et permet à quiconque en possédant un, de pouvoir communiquer avec n'importe qui et n'importe où.

Comme les téléphones portables se sont améliorés et sont devenus simples pour employer, l'importance des téléphones portables est accrue en conséquence.

Les téléphones portables sont devenus une nécessité pour beaucoup de gens dans le monde entier. La capacité de rester en contact avec la famille, les associés d'affaires, et l'accès à l'email sont seulement quelques unes des raisons de l'importance croissante des téléphones portables. Les téléphones portables techniquement avancés d'aujourd'hui sont capables non seulement de recevoir et de placer des appels de téléphone, mais de stocker des données, prenant des photos, et peuvent même être employés comme talkies-walkies, sont capables aussi d'accès Internet, d'envoyer et de recevoir des photos et des dossiers, et quelques téléphones portables sont équipés de la technologie GPS, tenant compte de l'usage dans la

plupart des endroits autour du monde et permettant au téléphone portable d'être trouvé ou l'utilisateur d'être situé en cas de la perte ou de l'urgence. Une étude menée par " the Cisco Connected World Technology Report" en 2011 montre que 50% de la population préfère perdre son portefeuille que son téléphone [50].

Un dispositif mobile intelligent est très intimement lié à une personne donnée. La plupart des personnes gardent généralement leurs dispositifs mobiles, à proximité immédiate, que ce soit dans leur poche ou leur sac, ou même sur leur table de chevet à côté du lit. Il est rare que l'on prête un appareil de ce genre à une autre personne. La plupart des gens sont conscients que leur dispositif mobile contient tout un éventail d'informations extrêmement intimes pouvant aller de leurs courriers électroniques à des photos privées, et leur liste de contacts, par exemple. Cela permet aux fournisseurs de services basés sur la localisation d'obtenir une vision intime sur la position du propriétaire d'un tel appareil.

La technologie des dispositifs mobiles intelligents permet une surveillance constante de données de localisation. Les téléphones intelligents peuvent collecter en permanence des signaux de stations de base. Sur le plan technique, la surveillance peut se faire en secret, sans en informer le propriétaire. Elle peut également se faire de manière semi secrète, lorsque les personnes «oublient» que le paramètre de services de localisation est «activé» ou n'en sont pas correctement informées, ou lorsque les paramètres d'accessibilité des données de localisation passent de «privé» à «public».

Puisque le téléphone mobile est très intimement lié une personne donnée, alors la position de cette personne peut être obtenue par la localisation de son mobile.

Les téléphones mobiles peuvent être géolocalisés par GPS ou par triangulation des antennes relai (il y en a environ 157 000 en France dont 50 000 antennes 3G /UMTS) (Janvier 2012) [51]. Les opérateurs mettent à profit la géolocalisation aujourd'hui largement intégrée à l'offre d'équipements (Smartphones), couplée à des bases de données, à des services de « cartographies » ou encore à une identification d'objets par la technologie RFID ou le Wi-Fi ; la géolocalisation permet aux différents opérateurs d'offrir des services de guidage automatique pour piétons et automobiles ou des informations locales.

### ***3.8 HTL : Hybridation de Techniques de Localisation***

Nous proposons dans notre approche HTL une amélioration du système ABL en termes de couverture et de précision. Cette amélioration peut être effectuée au niveau indoor et outdoor.

### 3.8.1 L'amélioration de la localisation en outdoor

Dans cette approche, on se base sur les avantages que présente le système de localisation GALILEO par rapport au système GPS pour améliorer la localisation en outdoor, en minimisant les inconvénients du GPS par la combinaison des deux systèmes pour garantir une localisation outdoor meilleure que celle obtenue par chaque système individuellement. Parmi les avantages de GALILEO, nous pouvons citer :

- ✓ Il est conçu et élaboré sur une base civile tout en intégrant dûment les protections nécessaires en matière de sécurité. À la différence du GPS à vocation essentiellement militaire, GALILEO offre, pour certains services, des garanties juridiques de fonctionnement exigées par les sociétés modernes, en particulier en matière de responsabilité contractuelle.
- ✓ Il est basé sur la même technologie que le GPS et offre un degré de précision similaire, voire supérieur en raison de la structure de la constellation de satellites et des systèmes terrestres de contrôle et de gestion prévus.
- ✓ Il possède une fiabilité supérieure car il comprend un "message d'intégrité " informant immédiatement l'utilisateur des erreurs qui apparaissent. À la différence du GPS, GALILEO est reçu dans les régions situées à des latitudes extrêmes ;
- ✓ Il constitue un véritable service public et offre à ce titre une garantie de continuité de services pour certaines applications. Au contraire, il existe au cours des dernières années plusieurs exemples d'indisponibilité involontaire ou intentionnelle des signaux GPS, parfois sans préavis.

L'utilisation harmonieuse des deux infrastructures (double source) apporte un réel avantage en termes de précision et de sécurité en cas de défaillance de l'un des deux systèmes. La coexistence de deux systèmes est bénéfique pour tous les utilisateurs qui pourront recevoir les signaux GPS et GALILEO sur un seul et même récepteur. Donc capter aussi les signaux émis par le système Galileo délivrera une position plus précise.

Le système GPS appartient à part entière aux États-Unis qui peuvent décider de dégrader les performances de ce système temporairement et/ou localement afin que d'autres utilisateurs ne bénéficient plus des meilleures performances, le système Galileo permet aux délégués utilisateurs de ces deux services de ne plus craindre cette menace de dégradation temporaire.

Donc l'exploitation de la relation complémentaire et interopérable entre GALILEO et GPS peut fournir aux utilisateurs dans le monde entier des services améliorés et plus sûrs.

### **3.8.2 L'amélioration de la localisation en indoor**

L'amélioration de la localisation en indoor est nécessaire pour surmonter la faible disponibilité du service GPS dans les milieux confinés, où dans les applications dans le domaine automobile, les conditions de visibilité sont souvent dégradées (les bâtiments, les tunnels, l'interférence électronique, ...etc.) ; ceci peut bloquer la réception du signal, entraînant des erreurs de position voir causant un arrêt temporaire du système. Typiquement, les unités de GPS ne fonctionneront pas dans des environnements d'intérieur.

La méthode de localisation indoor proposée dans le système ABL n'assure pas le positionnement de l'utilisateur n'importe où, car elle localise l'utilisateur seulement dans les places prédéfinies par l'utilisateur. Alors on a besoin d'une autre méthode fiable et plus efficace.

Pour garantir la localisation dans l'environnement d'intérieur en plus de l'outdoor, nous proposons d'utiliser des puces RFID considérées comme lecteurs de tags mobiles intégrés dans des Smartphones en plus de puces GPS/GALILEO.

La position de l'utilisateur sera obtenue en localisant son Smartphone indoor et en outdoor. Alors, quand l'utilisateur se déplace dans l'environnement extérieur, sa position sera calculée en utilisant le GPS et / ou Galileo. Dans le cas où l'utilisateur est hors de la couverture des deux satellites, le positionnement par WLAN et RFID sera utilisé afin d'estimer la position de l'utilisateur en indoor.

Pour la localisation indoor, les solutions proposées pour le positionnement à base de la technologie RFID peuvent être classifiées en deux catégories :

- Tag-oriented : vise à localiser les tags RFID ;
- Reader-oriented : vise à localiser le lecteur RFID portable.

Les deux approches peuvent être utilisées pour implémenter un service de localisation .

Notre proposition pour la localisation indoor est de type « reader-oriented ». L'idée est d'utiliser les deux technologies WLAN et RFID synergiquement pour concevoir une plateforme pour améliorer le service d'estimation de la position. L'identification des tags

RFID peut en effet être très utile pour augmenter la précision du système de positionnement basé sur la technologie WLAN.

L'approche proposée pour la localisation peut être considérée comme une évolution de technique WLAN proposée dans le système ABL; notre proposition exige que la cible mobile, dont l'endroit doit être déterminé soit équipée d'un WLAN et d'un lecteur de RFID, en plus d'un ensemble d'étiquettes (tags) RFID considérées comme points de référence placées dans l'environnement indoor (l'environnement est divisé en plusieurs zones, chaque zone est identifiée par une étiquette RFID bien définie).

La proposition de composants RFID dans cette hybridation a pour but de réduire le nombre d'itérations pendant l'étape de recherche de la meilleure correspondance aux valeurs RSSI mesurées par le Smartphone dans la BDD associée au système de positionnement par WLAN. En forçant l'algorithme de chercher la meilleure correspondance seulement dans la zone d'intérêt réelle (zone d'appartenance de l'utilisateur identifiée par le lecteur RFID).

L'algorithme proposé pour le positionnement indoor comporte deux phases.

➤ **1ere phase : construction de la base de données**

Dans cette étape, on va créer une BDD qui doit contenir des informations concernant les points de références (WLAN AP). La présence de points de référence pour les mesures de RSSI du point d'accès WLAN est nécessaire pour l'estimation de la position de l'utilisateur. Chacun d'entre eux est caractérisé en termes d'un ensemble de valeurs RSSI, une pour chaque point d'accès disponible.

On a pensé à maintenir l'approche proposée dans le système ABL pour le positionnement par WLAN et simplement augmenter les informations relatives à chaque point de référence. En effet, selon l'approche que nous proposons, l'environnement indoor est divisé en zones et chaque point de référence à une position (x, y) et il a également une « zone d'appartenance » associée. Les zones sont individuées par des étiquettes RFID, placées dans l'environnement d'intérêt.

Pour tenir compte de la variabilité du signal WLAN propagé (affecté par des phénomènes de réflexion, de diffraction et de diffusion) des mesures à un point de référence WLAN doivent être répétées un certain nombre de fois. Pour chaque AP (Access point) détecté, la valeur la plus fréquente de RSSI est sélectionnée parmi les valeurs disponibles et va être stockée dans la BDD des points de référence. D'un autre côté, au moment de la détection d'un point d'accès WLAN avec la valeur la plus fréquente de RSSI associée, le lecteur RFID (intégré dans le Smartphone) obtiendra des signaux de plusieurs étiquettes (tags) RFID sous sa couverture et sélectionnera le signal d'étiquette (tag) RFID le plus fort. Par

conséquent, la zone associée à ce point d'accès va être aussi stockée dans la BDD, où chaque point d'accès WLAN est caractérisé par sa valeur de RSSI et la zone d'appartenance, qui seront des références pour le calcul de la position. Le but de l'algorithme présenté dans cette proposition est d'améliorer la couverture et la précision de positionnement grâce à l'hybridation des deux technologies (RFID, WLAN).

La table 3.2 présente un exemple d'une structure de la BDD associée au WLAN positioning.

<i>N° du Point d'accès</i>	<i>Point d'accès (AP)</i>	<i>Valeur RSSI associée</i>	<i>Zone d'appartenance</i>	<i>Position du Point d'accès</i>	<i>Nbr de fois détecté</i>	<i>Couverture</i>
01	AP1	RSS <sub>1</sub>	a	(x <sub>1</sub> , y <sub>1</sub> )	N <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
02	AP2	...	a	(x <sub>2</sub> , y <sub>2</sub> )	...	...
03	AP3	...	b	(x <sub>3</sub> , y <sub>3</sub> )	...	...
04	AP4	...	c	(x <sub>4</sub> , y <sub>4</sub> )	...	...
...	...	...	...	...	...	...
N-1	AP <sub>N-1</sub>	RSS <sub>N-1</sub>	Z	(x <sub>N-1</sub> , y <sub>N-1</sub> )	N <sub>n-1</sub>	C <sub>N-1</sub>
N	AP <sub>N</sub>	RSS <sub>N</sub>	Z	(x <sub>N</sub> , y <sub>N</sub> )	N <sub>n</sub>	C <sub>N</sub>

*Tableau 3.2 : exemple de la BDD associée au WLAN positioning.*

### ➤ 2emes phase : localisation du Smartphone

Pendant la phase de détermination de la position, notre proposition exploite deux types de mesure pour identifier la position inconnue d'un utilisateur. Le WLAN et le lecteur RFID mobile (intégrés dans le Smartphone) mesurent les valeurs de RSSI des points d'accès WLAN et les étiquettes RFID, respectivement. L'appareil mobile peut prendre sa décision au sujet de sa position estimée en se basant sur les mesures RSSI de RFID, en plus des valeurs de RSSI de WLAN afin d'être comparés avec les données RSSI dans la base de données de WLAN positioning. Plus précisément, l'algorithme envisagé applique cette approche en deux étapes.

Tout d'abord, l'algorithme identifie la «zone» dans l'environnement d'intérêt où l'utilisateur est probablement situé, en fondant sur les valeurs RSSI reçus des étiquettes (tags) RFID dispersées dans l'environnement et associées à chaque zone.

Au cours de la phase d'identification de la zone, le lecteur RFID intégré dans le Smartphone génère une séquence d'interrogations, il diffuse des messages de numérisation qui réveillent les étiquettes (tags) RFID accessibles et interrogent leurs identifiants et associe à chaque étiquette identifiée un niveau de puissance RF.

Dans n'importe quelle position, le lecteur (intégré dans le Smartphone) obtient des signaux de plusieurs étiquettes (tags) RFID sous sa couverture et sélectionne le signal d'étiquette (tag) RFID le plus fort et, par conséquent, la zone associée. Comme un résultat, une estimation de la position est effectuée.

En second lieu, l'information de la zone estimée sera utilisée pour filtrer les entrées RSSI dans la BDD de WLAN positioning, sur lesquelles l'algorithme de positionnement sera exécuté. Cela réduit considérablement les ambiguïtés en associant des valeurs RSSI mesurées à des valeurs RSSI dans la BDD, améliorant ainsi la précision et l'efficacité de la méthode globale de localisation. Cette deuxième étape est donc une sorte de raffinement du processus de l'estimation de localisation.

Pendant la phase de détermination de la zone, le lecteur RFID peut agir de deux façons alternatives. Selon le premier mode, appelé RSSI maximale, le lecteur génère une séquence d'interrogations avec augmentation de la puissance de transmission. Le lecteur commence à interroger à la plus basse puissance admise de transmission et s'arrête quand la première étiquette (probablement la plus proche) est atteinte. Si plus d'une étiquette est détectée, alors celle avec la puissance de transmission la plus élevée est considérée comme un indicateur de la zone de localisation. L'algorithme (1) décrit le pseudo code de cette approche.

**Algorithme1 : Détermination de la zone en utilisant la valeur RSSI maximale [53]**

*N : nombre de zones dans l'environnement d'intérêt //chaque tag représente une zone.*

*M : nombre de tags placés dans l'environnement d'intérêt.*

**Début**

*For (i=1, i≤N) do*

*For (j=1, j≤M) do*

*maxTagRSSI [zone]=ValueRSSI (tag, zone) ;*

*// La fonction ValueRSSI sert à retourner le Max des valeurs RSSI associées aux étiquettes (tags) détectées dans chaque zone.*

*End ;*

*End ; // l'ensemble de zones, chacune identifiée par l'étiquette (tag) avec max RSSI.*

*SelectedZone=zone avec maxTagRSSI le plus élevé;*

//identifier la zone d'appartenance de l'utilisateur.

**Fin.**

Selon la politique alternative, nommée RSSI moyenne, le lecteur commence directement l'interrogation des tags RFID à la puissance de transmission la plus élevée autorisée, afin de détecter le plus grand nombre d'étiquettes RFID possible, et calcule une valeur moyenne RSSI par la zone, selon le pseudo code de l'algorithme (2).

**Algorithme 2 : Détermination de la zone en utilisant la valeur RSSI moyenne [53]**

*N* : nombre de zones dans l'environnement d'intérêt //chaque tag représente une zone.

*M* : nombre de tags placés dans l'environnement d'intérêt.

**Début**

For ( $i=1, i \leq N$ ) do

For ( $j=1, j \leq M$ ) do

$averageTagRSSI [zone]=ValueRSSI (tag, zone) ;$

// La fonction ValueRSSI sert à retourner la moyenne des valeurs RSSI associées aux étiquettes (tags) détectées dans chaque zone.

End ;

End ; //l'ensemble de zones, chacune identifiée par la valeur moyenne des RSSI associés aux étiquettes (tags) détectées dans chaque zone.

$SelectedZone=zone$  avec  $averageTagRSSI$  le plus élevé;

//identifier la zone d'appartenance de l'utilisateur.

**Fin.**

L'algorithme 3 présente la description du pseudo code de l'algorithme de localisation proposé.

**Algorithme 3 : Détermination de la position de l'utilisateur**

*N* : nombre de zones dans l'environnement d'intérêt //chaque tag représente une zone.

*M* : nombre de tags placés dans l'environnement d'intérêt.

*Ap* : nombre de points d'accès détectés.

*K* : nombre de fois que les mesures de signaux RSSI sont répétées.

### Début

#### //Phase1 : Création de la BDD des points d'accès de référence

// Pour chaque point d'accès, la valeur la plus fréquente de RSSI est choisi parmi les 'k' valeurs disponibles (obtenues par répétition de mesure k fois).

For (*i*=1, *i*≤*Ap*) do // pour chaque point d'accès détecté :

For (*j*=1, *j*≤*k*) do

RSSI [*Ap*] = RSSI le plus frequent (*Ap*, RSSI(*k*));

// La fonction (RSSI le plus frequent) sert à retourner la valeur RSSI la plus fréquente pour chaque point d'accès détecté.

End ;

For (*i*=1, *i*≤*N*) do

For (*j*=1, *j*≤*M*) do

maxTagRSSI [*zone*] = ValueRSSI (*tag*, *zone*) ;

// La fonction ValueRSSI sert à retourner le Max des valeurs RSSI associées aux étiquettes (tags) détectées dans chaque zone.

End ;

End ;

// L'ensemble de zones, chacune identifiée par l'étiquette (tag) avec max RSSI.

SelectedZone = zone avec maxTagRSSI le plus élevé;

// identifier la zone d'appartenance de point d'accès.

End ;

Sauvegarder les APs détectés dans la BDD chacun avec sa valeur RSSI associée, et sa zone d'appartenance ;

**Phase2 : calcule de la position de l'utilisateur**

*// Détermination de la zone où l'utilisateur est probablement situé.*

*For (i=1, i≤N) do*

*For (j=1, j≤M) do*

*maxTagRSSI [zone]=ValueRSSI (tag, zone) ;//(par maxRSSI)*

*//ou averageTagRSSI [zone]=ValueRSSI (tag, zone ;//(par averageRSSI)*

*End ;*

*End ;*

*SelectedZone=zone avec averageTagRSSI le plus élevé;*

*//chercher les points de référence dans la BDD les plus proches à chacun des points d'accès détectés dans la zone sélectionnée en comparant les valeurs RSSI associés.*

*SelectedReferencePoints=searchDB (selectedZone, RSSI);*

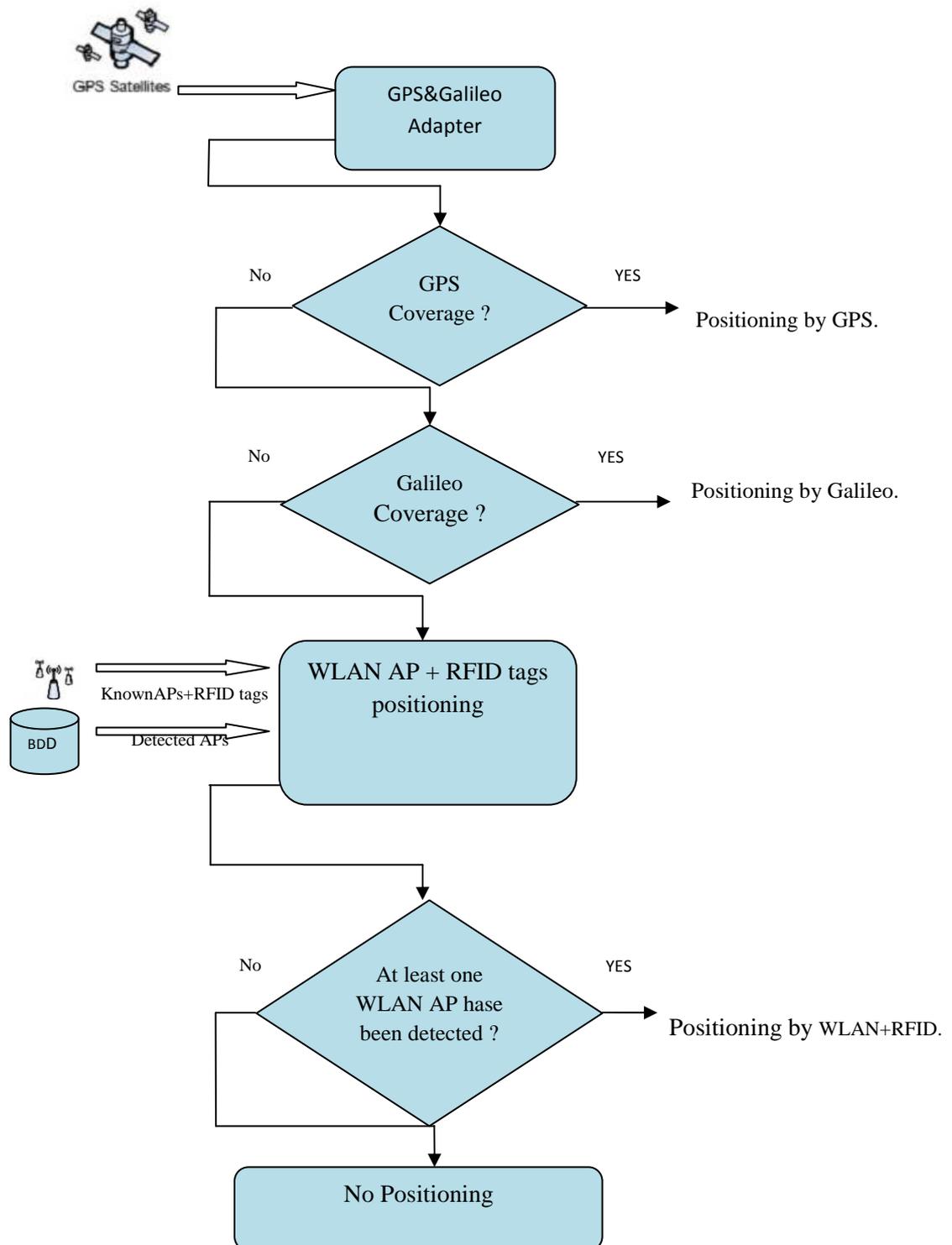
*// Exécution de l'algorithme de positionnement sur les points d'accès afin de déduire la position de l'utilisateur ;*

*UserPosition=PositioningFunction (selectedReferencePoints);*

*//comme elle est présentée dans le système ABL.*

**Fin.**

En conclusion le schéma de la figure 3.8 représente le principe de l'approche proposée.



*Fig. 3.8 : HTL : Une approche hybride pour le positionnement pervasif.*

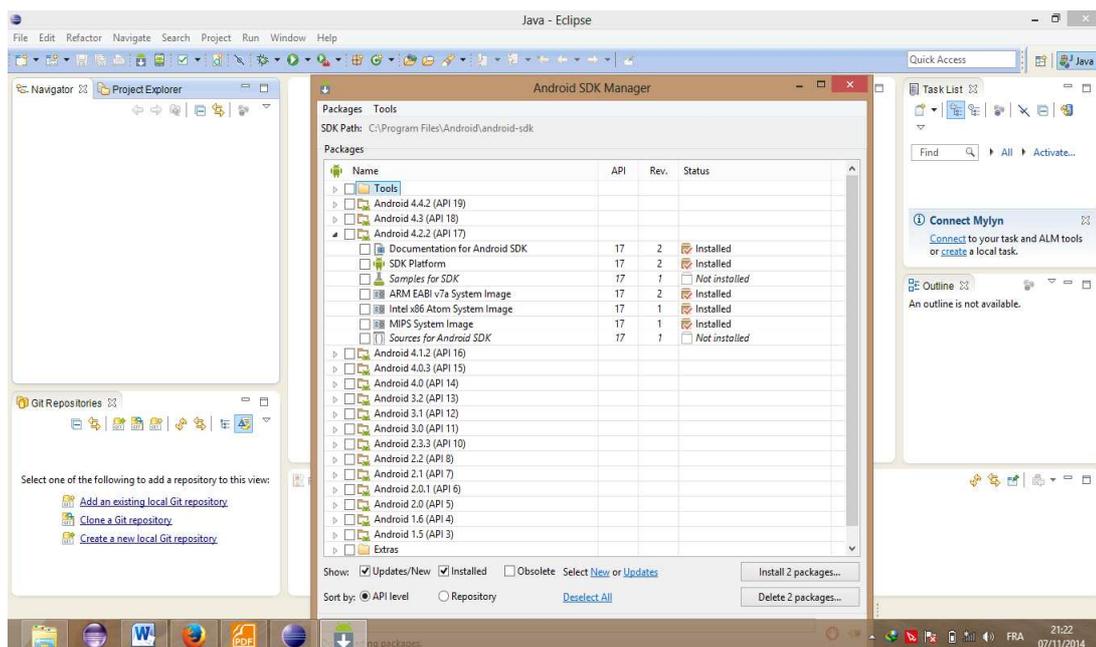
### 3.9 Technologies et langage de programmation

Notre algorithme proposé pour la localisation sera exécuté sur des Smartphones comme une application de localisation. Actuellement, la majorité des applications installées sur les Smartphones ont été programmées sous Android. Le système est extrêmement portable, il s'adapte à beaucoup de structures différentes. Les Smartphones, les tablettes..., en plus

Android est construit de manière à faciliter le développement et la distribution en fonction des composants en présence dans le terminal (si une application nécessite d'utiliser le Bluetooth, seuls les terminaux équipés de Bluetooth pourront la voir sur le Play Store).

**Android** est un système d'exploitation pour téléphone portable de nouvelle génération développé par Google. Celui-ci met à disposition un kit de développement (SDK) basé sur le langage Java.

Un **SDK**, c'est-à-dire un kit de développement, est un ensemble d'outils que met à disposition un éditeur afin de permettre de développer des applications pour un environnement précis. Le SDK Android permet donc de développer des applications pour Android et uniquement pour Android. Le SDK Android nécessite d'avoir un JDK (5 ou 6) installé sur le PC pour pouvoir être utilisé. Le **JDK** (Java Development Kit) contient le **JRE** (Java Runtime Environment). L'ensemble d'outils qui nous permettra d'exécuter des applications Java.

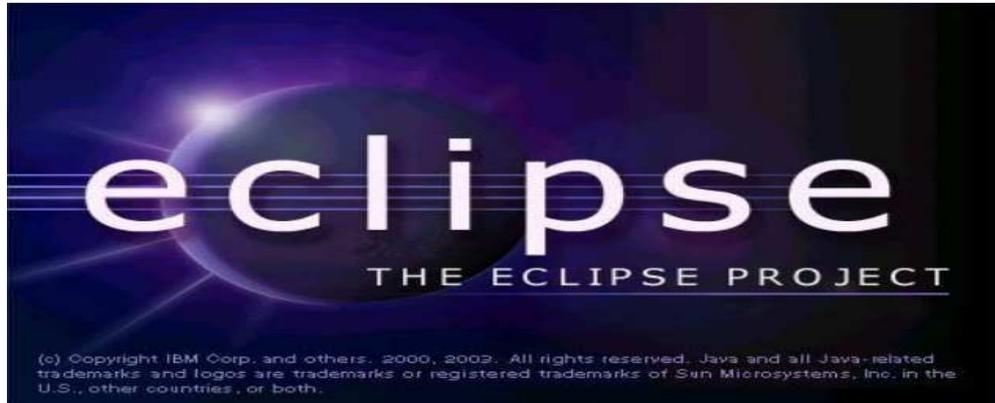


*Fig.3.9 Android SDK Manager configuré sur Eclipse.*

Dans le cas du développement Android, un IDE (*Integrated Development Environment*) (EDI environnement de développement intégré en français) est très pratique pour ceux qui souhaitent ne pas avoir à utiliser les lignes de commande. Un IDE est un logiciel dont l'objectif est de faciliter le développement, généralement pour un ensemble restreint de langages. Il contient un certain nombre d'outils, dont au moins un éditeur de texte souvent

étendu pour avoir des fonctionnalités avancées telles que la génération automatique de code, des outils de compilation et un débogueur.

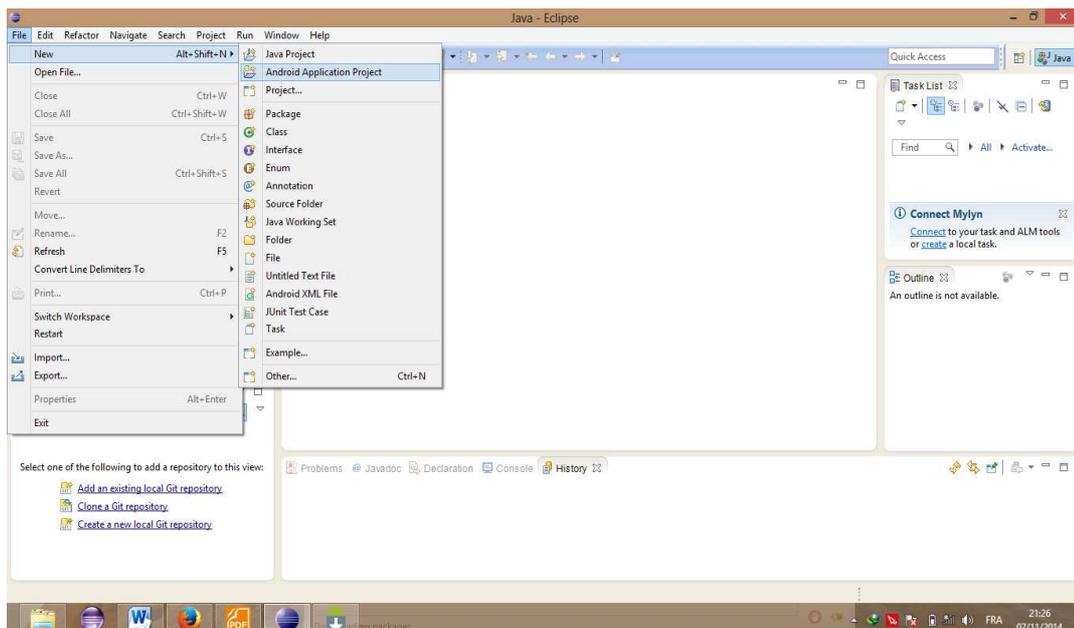
J'ai choisi de me baser sur **Eclipse** : tout simplement parce qu'il est gratuit, puissant et recommandé par Google dans la documentation officielle d'Android.



*Fig.3.10 Eclipse : environnement de développement intégré [52].*

En cas de développement sous Eclipse, Google fournit un plugin pour cet IDE nommé : **Android Development Tools** (ADT), qui doit être bien configuré sur Eclipse afin de pouvoir programmer des applications Android.

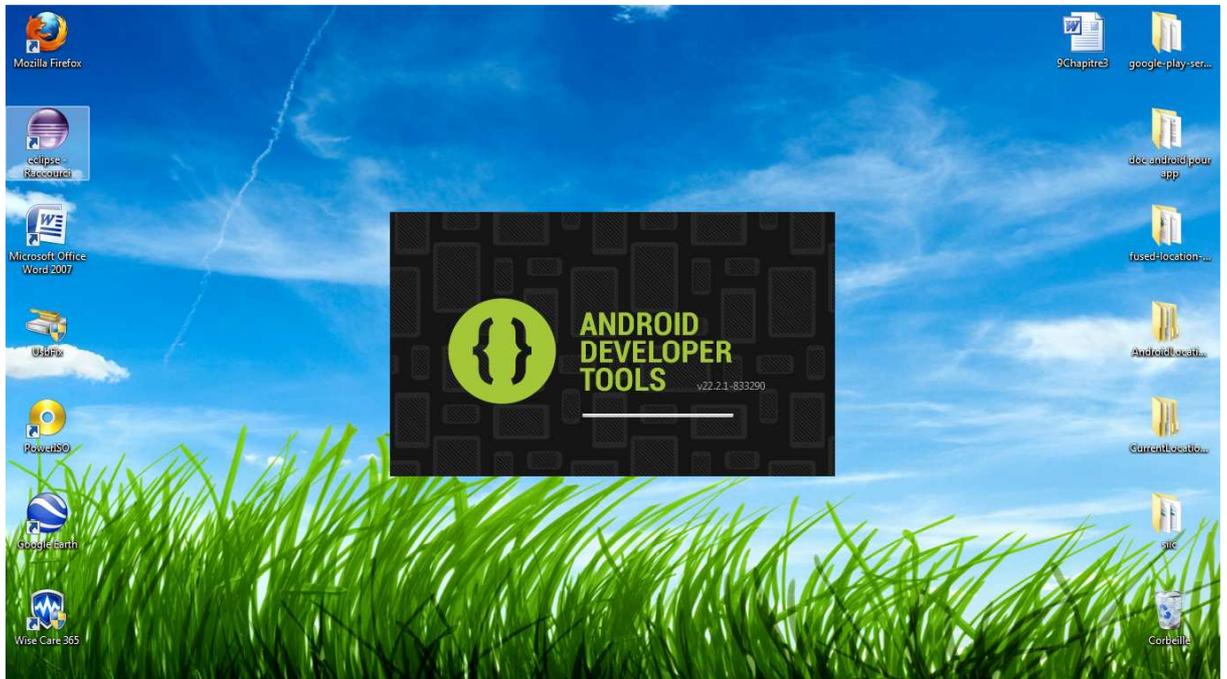
La figure suivante (Fig.3.11) présente l'environnement Eclipse après avoir bien configuré l'Android Development Tools.



*Fig.3.11 L'environnement Eclipse après avoir configuré l'ADT.*

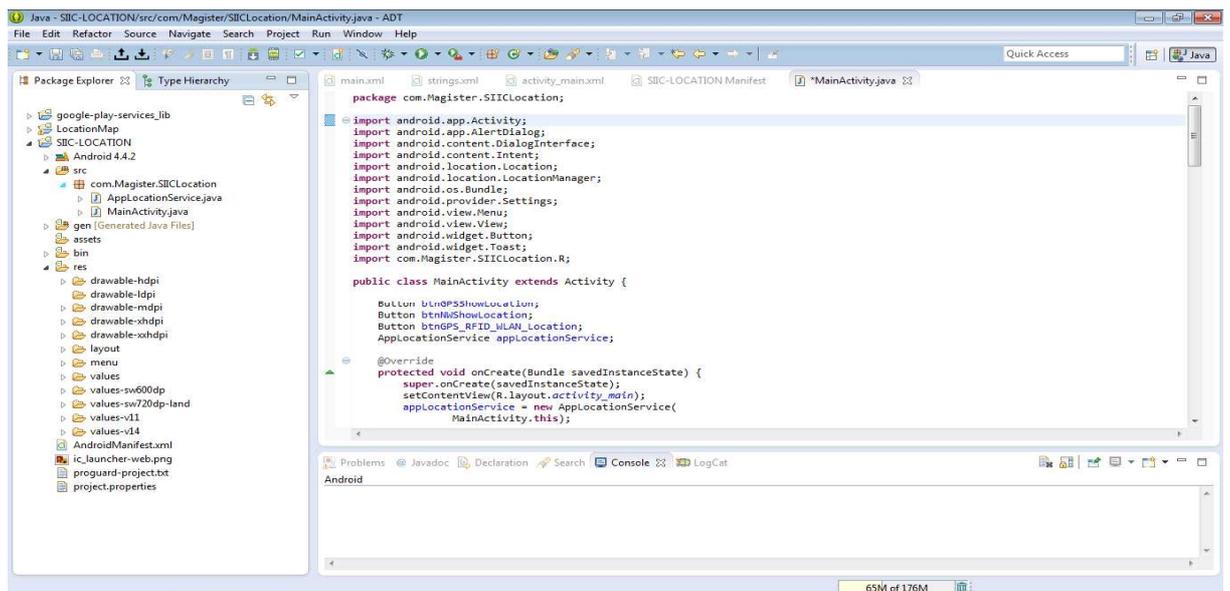
### 3.10 Implémentation

Afin d'évaluer notre approche proposée pour la localisation , on a programmé une application Android sous Eclipse ,installée et exécutée sur un Smartphone réel selon les étapes suivantes :



*Fig 3.12 : Lancement de l'environnement de programmation.*

➤ On a crée une nouvelle application nommée : SIIC\_LOCATION sous Android 4.4.2.



*Fig 3.13 : La création de notre application nommée SIIC-LOCATION.*

- Après ,on a programmé notre application en utilisant les classes ; les méthodes ; les fonctions ; les packages et les permissions d'accès nécessaires.
- En absence de moyens pour simuler les RFIDs sous Android , et pour valider notre proposition, on a supposé que pour estimer la position de l'utilisateur dans un certain environnement, l'application ABL\_LOCATION utilise tous les points d'accès WLAN détectés avec différents signaux RSSI ,par contre l'application SIIC\_LOCATION utilise un sous ensemble de ces points d'accès, ceux avec un signal RSSI forts (par exemple : les 5 premiers points d'accès avec le plus fort RSSI).Donc on a spécifié la zone d'appartenance de l'utilisateur qui doit etre normalement déterminée par l'utilisation des RFIDs réelement.
- Notre application(SIIC\_LOCATION) permet de garantir la mise à jour de position de l'utilisateur en temps réel, les coordonnées de localisation seront modifiées à chaque nouvelle estimation de position .
- Le compilateur génère un fichier exécutable nommé : *SIIC\_LOCATION.Apk*, qui sera installé sur le Smartphone comme application de localisation.
- On a essayé aussi d'implimenter le système ABL par une application nommée : ABL\_LOCATION , afin de le comparer avec notre approche proposée pour la localisation. Les deux applications sont basées sur le même principe, c'est que la localisation de l'utilisateur par tout et à tout moment .

### ❖ *Expérimentation et résultats*

On a installé les deux applications sur le même Smartphone (DOOGEE CC300, Android 4.2.2) en utilisant les deux fichiers exécutables : *SIIC\_LOCATION.Apk* et *ABL\_LOCATION.APK* , ensuite, on a fait un test de localisation en outdoor et indoor en utilisant les deux approches(HTL, ABL).

- En outdoor , les valeurs de la précision de localisation de SmartePHONE fournies par les deux applications (HTL, ABL) sont proches dans la majorité de temps, c-à-d que la localisation de l'utilisateur est basé sur le GPS en outdoor, car il fournit la meilleure précision de positionnement.
- En indoor dans certains cas, le GPS est disponible seulement si le Smartphone est placé à proximité de la fenêtre. La localisation était garantie dans la majorité de temps

par WLAN positioning. Dans cet environnement , ABL et HTL ont fournis des valeurs de précision distinctes, où celle fournie par HTL est la plus précise.

- En justifiant ces résultats par l'utilisation des RFID en indoor en plus de la technologie WLAN, qui ont forcé l'algorithme de localisation d'estimer la position de l'utilisateur en utilisant les points d'accès WLAN seulement détectés dans la zone d'appartenance de l'utilisateur. Ce qu'est amélioré la précision de localisation par rapport à l'approche ABL qui se base sur l'utilisation de tous les points d'accès WLAN détectés à partir de Smartphone pour estimer la position de l'utilisateur.
- Donc, on conclure que l'utilisation des étiquettes RFID (RFID Tags) dans l'environnement indoor peut améliorer la précision de localisation.

### ***3.11 Conclusion***

Dans ce chapitre on a essayé d'améliorer le système ABL (Always Best Located) [26] proposé dans la littérature pour la localisation, afin de garantir un service de positionnement continu, n'importe quand et n'importe où (un service omniprésent) en surmontant les inconvénients de ce système ABL [26] par la proposition d'une autre hybridation de techniques de localisation en utilisant les RFID Tags.

Le premier effet positif de cette hybridation proposée est la réduction sévère du nombre de recherches (itérations) dans la BDD, en forçant l'algorithme de chercher la meilleure correspondance dans la zone d'intérêt réelle. Les résultats de l'implémentation n'évaluent pas vraiment notre proposition, car on n'a pas utilisé réellement les RFIDs et Galileo et on n'a pas implémenté complètement l'approche ABL, on peut seulement conclure que l'hybridation (GPS+WLAN+RFID) peut garantir une estimation plus précise de la position de l'utilisateur.

# ***CONCLUSION GENERALE***

Dans ce mémoire, le premier chapitre était un état de l'art sur les technologies et/ou techniques de localisation existantes dans la littérature en identifiant les avantages et les inconvénients de chacune d'elles et en classifiant ces techniques en deux classes : mono-technique et multi technique (Hybride), où dans le 2<sup>ème</sup> chapitre, on a fait une étude approfondie de la localisation multi technique (hybride). On a étudié certains travaux qui sont basés sur plusieurs techniques et/ou technologies pour l'estimation de la position, on a identifié les approches, les technologies et les outils utilisés, en plus des points forts et faibles pour chaque travail.

Parmi ces travaux, on a cité le travail de L. Reyero, G. Delisle intitulé : « Always Best Located » [26] qui consiste à un service de positionnement dite continu. On a présenté le principe de cette approche ABL, et les résultats expérimentant obtenus. Afin de concevoir un système de positionnement pervasif (indoor et outdoor), et garantir une meilleur couverture et précision de localisation dans n'importe quel environnement, on a décidé d'améliorer ce travail en éliminant ces inconvénients en améliorant la précision et la couverture de ce système.

Donc dans le 3eme chapitre, nous avons proposé une approche pour répondre au challenge de la localisation. Conceptuellement, cette proposition a des avantages par rapport au système ABL. Dans l'environnement indoor, nous avons introduit des tags RFID où chacune est associées à une zone dans l'environnement d'intérêt ; ce qui a permet d'améliorer la précision de la localisation par l'identification de la zone où l'utilisateur est probablement situé. Cette identification a réduit le nombre de points d'accès qui sera pris en compte pour le calcul de la position de l'utilisateur. Par contre, dans le système ABL tous les points d'accès détectés sont pris en compte dans le processus de localisation. De plus, notre approche permet d'assurer le suivi de l'utilisateur n'importe où ; ce qui n'est le cas de ABL qui permet le suivi de l'utilisateur seulement quand il se trouve dans les places déjà prédéfinies, hors de ces endroits la position de l'utilisateur est inaccessible. En plus, on peut conclure que le temps de positionnement sera réduit à cause de la minimisation du nombre d'itérations pendant la recherche dans la BDD de WLAN positioning. Le nombre de points d'accès sauvegardés dans la BDD sera alors réduit car nous avons proposé d'éliminer les signaux RSSI détectés mais qui sont très faibles ; puisque leur prise en compte aura provoquée des erreurs de localisation pouvant être importantes.

Dans l'environnement outdoor, nous avons proposé d'intégrer des puces dans les Smartphones qui sont capables de détecter des signaux à partir de GPS et Galileo en même temps afin d'augmenter la possibilité de suivi de l'utilisateur, et aussi pour améliorer la précision par rapport à l'utilisation du GPS seul, où les derniers testes de localisation effectués montrent que le système Galileo assure une localisation plus précise par rapport au GPS et garantit aussi le positionnement dans des endroits où GPS est généralement indisponible (dans certains milieux confinés ). Cette proposition permet d'assurer la localisation de l'utilisateur en cas de défaillance de l'un des deux systèmes.

Les résultats expérimentaux prouvent que l'approche proposée peut garantir une estimation plus précise de la position de l'utilisateur.

L'infrastructure WLAN existe déjà dans les bâtiments et il n'y a pas de coût matériel supplémentaire. En outre, tous les appareils comme les tablettes, ordinateurs personnels, assistants numériques personnels (PDA) et les téléphones mobiles, dont les gens utilisent dans leur vie quotidienne, ont des capacités WLAN intégrées. Les puces RFID seront bientôt disponibles dans l'environnement de l'utilisateur, et l'intégration de leurs lecteurs dans les Smartphones va réduire considérablement le coût de ces puces et faciliter leur utilisation.

Enfin, avoir un système très omniprésent avec une meilleure précision de positionnement reste un enjeu pour la plupart des recherches actuelles dans le domaine de localisation, ce travail reste un essai d'amélioration afin d'avoir un service de localisation continu et fiable qui sera amélioré aussi par la suite des recherches.

La poursuite de ce travail consiste à l'utilisation réelle de Galileo et les RFIDs pour l'évaluation réelle de notre proposition.

# ***REFERENCES***

- [1] Stefanut, P. (2010). *Application des algorithmes de haute résolution à la localisation de mobiles en milieu confiné* (Doctoral dissertation, Lille 1).
- [2] Ermel, E. (2004). *Localisation et Routage géographique dans les réseaux sans fil hétérogènes* (Doctoral dissertation, Paris 6).
- [3] Evennou, F. (2007). *Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- [4] Delot, T. (2009). *Accès aux données dans les systèmes d'information pervasifs* (Doctoral dissertation, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis).
- [5] El Badaoui El Najjar, M. (2003). *Localisation dynamique d'un véhicule sur une carte routière numérique pour l'assistance à la conduite* (Doctoral dissertation, Compiègne).
- [6] VAN DER HAEGEN, M. (2007). *Réseau de senseurs sans fil : problèmes de localisation*. Mémoire proposé en vue de l'obtention du grade de licencié en informatique, Université Libre de Bruxelles.
- [7] MAALI, A. (2011, Octobre). *Localisation via les signaux ultra wide band (UWB)*. (Doctoral dissertation, Ecole Militaire Polytechnique, Alger).
- [8] Wang, S., & Hu, H. (2011). *Three-Dimensional Localisation using Cricket System*. Tech. Rep., School of Computer Science and Electronic Engineering, University of Essex (December 2011).
- [9] Anne, M., Crowley, J. L., Devin, V., & Privat, G. (2005, May). *Localisation intra-bâtiment multi-technologies: RFID, Wifi et vision*. In *Proceedings of the 2nd French-speaking conference on Mobility and ubiquity computing* (pp. 29-35). ACM.
- [10] Taok, A. (2008). *Localisation dans les milieux confinés: combinaison de l'UWB et les réseaux de neurones dans un algorithme de localisation par signature* (Doctoral dissertation, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue).

- 
- [11] Yang, Z., Liu, Y., & Li, M. (2009, April). ***Beyond trilateration: On the localizability of wireless ad-hoc networks***. In *INFOCOM 2009, IEEE* (pp. 2392-2400). IEEE.
- [12] Koutsou, A. D., Seco, F., Jiménez, A. R., Roa, J. O., Ealo, J. L., Prieto, C., & Guevara, J. (2007, October). ***Preliminary localization results with an RFID based indoor guiding system***. In *Intelligent Signal Processing, 2007. WISP 2007. IEEE International Symposium on* (pp. 1-6). IEEE.
- [13] Trevisani, E., & Vitaletti, A. (2004, December). ***Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study***. In *Mobile Computing Systems and Applications, 2004. WMCSA 2004. Sixth IEEE Workshop on* (pp. 51-60). IEEE.
- [14] Lassabe, F., Canalda, P., Chatonnay, P., & Spies, F. (2009). ***Indoor Wi-Fi positioning: techniques and systems***. *annals of telecommunications-Annales des télécommunications*, 64(9-10), 651-664.
- [15] Marjan Moradi, Z., Aftanasar, Md.S., Ishak, A. (2010). ***Trilateration Target Estimation Improvement using New Error Correction Algorithm***. School of Electric and Electronic Engineering, University Sains Malaysia (USM) Nibong Tebal, Malaysia.
- [16] Coffey, C., Pozdnoukhov, A., & Calabrese, F. (2011, November). ***Time of arrival predictability horizons for public bus routes***. In *Proceedings of the 4th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science* (pp. 1-5). ACM.
- [17] Barbeau, M., Kranakis, E., Krizanc, D., & Morin, P. (2004). ***Improving distance based geographic location techniques in sensor networks***. In *Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks* (pp. 197-210). Springer Berlin Heidelberg.
- [18] Gustafsson, F., & Van Biesen, L. ***Fingerprinting Localization in Wireless Networks Based on Received Signal Strength Measurements: A case study on WiMAX networks***.
- [19] Shih, C. Y., & Marrón, P. J. (2010, July). ***COLA: Complexity-reduced trilateration approach for 3D localization in wireless sensor networks***. In *Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), 2010 Fourth International Conference on* (pp. 24-32). IEEE.

- 
- [20] Fang, S. H., Hsu, Y. T., & Kuo, W. H. (2011). *Dynamic Fingerprinting Combination for Improved Mobile Localization*. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 10(12), 4018-4022.
- [21] Deligiannis, N., Louvros, S., & Kotsopoulos, S. (2007, August). *Optimizing location positioning using hybrid TOA-AOA techniques in mobile cellular networks*. In *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile multimedia communications* (p. 20). ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [22] BRÍDA, P., BENIKOVSKÝ, J., & MACHAJ, J. (2010). *Localization in Real GSM Network with Fingerprinting Utilization*. In *2nd International ICST Conference on Mobile Lightweight Wireless Systems MOBILIGHT*.
- [23] Chen, H. Y., & Chien, C. M. (2008, August). *Fuzzy logic theory with applications to hybrid GPS and TDOA/AOA Positioning System*. In *SICE Annual Conference, 2008* (pp. 348-351). IEEE.
- [24] Meng, W., Xiao, W., Ni, W., & Xie, L. (2011, September). *Secure and robust Wi-Fi fingerprinting indoor localization*. In *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on* (pp. 1-7). IEEE.
- [25] Zhao, Q., Zhang, S., Quan, J., & Lin, X. (2011, May). *A novel approach for WLAN-based outdoor fingerprinting localization*. In *Communication Software and Networks (ICCSN), 2011 IEEE 3rd International Conference on* (pp. 432-436). IEEE.
- [26] Reyero, L., & Delisle, G. Y. (2007, February). *Always Best Located, a pervasive positioning system*. In *Proceedings of the Second International Symposium on Wireless Pervasive Computing* (pp. 572-576).
- [27] DESSALLE, P. (2006). *Conception et réalisation d'une plateforme de déploiement de services géolocalisés services géolocalisés*. En vue de l'obtention du grade d'Ingénieur Civil Informaticien, Université Libre de Bruxelles.

- 
- [28] Hightower, J., & Borriello, G. (2001). *Location systems for ubiquitous computing*. *Computer*, 34(8), 57-66.
- [29] Thibault, D. (Juin 2009). *RTLS : les problématiques de localisation en temps réel*. Les focus Solucom, SOLUCOM Management & IT consulting.
- [30] <http://www.commentcamarche.net/contents/1028-rfid-radio-frequency-identification>(2014).
- [31] [http://www.journaldunet.com/solutions/0304/030430\\_rfid.shtml](http://www.journaldunet.com/solutions/0304/030430_rfid.shtml)(2014).
- [32] Seriot, N. (2005). *Les systèmes d'identification radio (RFID): fonctionnement, applications et dangers*. Mémoire d'Ecole d'Ingénieurs du Canton de Vaud EIVD, Yverdon (Suisse), 17.
- [33] *Des puces RFID dans le corps humains*. Fichier PDF.
- [34] Tag der, E., Tag der, M.P. (2008). *Statistical Data Fusion for Hybrid Localization of Mobile Terminals* (Doctoral dissertation), Darmstadt University.
- [35] Basaran, C., Baydere, S., & Kucuk, G. (2008). *RH+: A hybrid localization algorithm for wireless sensor networks*. *IEICE transactions on communications*, 91(6), 1852-1861.
- [36] Manjarres, D., Del Ser, J., Gil-Lopez, S., Vecchio, M., Landa-Torres, I., & Lopez-Valcarce, R. (2011, November). *On the application of a hybrid Harmony Search algorithm to node localization in anchor-based Wireless Sensor Networks*. In *Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2011 11th International Conference on* (pp. 1014-1019). IEEE.
- [37] ZHU, J. (2013). *Improved Hybrid Algorithm of Indoor Wireless Localization Based on RSSI for Wireless Sensor Networks* ★. *Journal of Computational Information Systems*, 9(9), 3707-3714.
- [38] Yan, K., Wu, H. C., & Iyengar, S. S. (2010). *Robustness analysis and new hybrid algorithm of wideband source localization for acoustic sensor networks*. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 9(6), 2033-2043.

- 
- [39] Laaraiedh, M. (2010). *Contributions on hybrid localization techniques for heterogeneous wireless networks* (Doctoral dissertation, Rennes 1).
- [40] Cheng, K. Y., Lui, K. S., & Tam, V. (2006, May). *Hybrid Approach for Localization in Anisotropic Sensor Networks*. In *Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd* (Vol. 1, pp. 344-348). IEEE.
- [41] Wang, X., Wong, A. S., & Kong, Y. (2012, February). *Mobility tracking using GPS, Wi-Fi and cell ID*. In *Information Networking (ICOIN), 2012 International Conference on* (pp. 171-176). IEEE.
- [42] Anne, M., Crowley, J. L., Devin, V., & Privat, G. (2005, May). *Localisation intra-bâtiment multi-technologies: RFID, Wifi et vision*. In *Proceedings of the 2nd French-speaking conference on Mobility and ubiquity computing* (pp. 29-35). ACM.
- [43] Gamba, P., Goldoni, E., & Savioli, A. *Performance Evaluation of an Hybrid RSSI-Inertial Localization Algorithm in IEEE 802.15. 4 Wireless Sensor Networks*.
- [44] Chan, S., & Sohn, G. (2012, June). *Indoor localization using Wi-Fi based fingerprinting and trilateration techniques for LBS applications*. In *Proceedings of the 7th International Conference on 3D Geoinformation*.
- [45] Li, B., Dempster, A., Rizos, C., & Barnes, J. (2005, September). *Hybrid method for localization using WLAN*. In *Spatial Sciences Conference* (pp. 341-350).
- [46] Dai, F., Liu, Y., & Chen, L. (2012, August). *A Hybrid Localization Algorithm for Improving Accuracy Based on RSSI/AOA in Wireless Network*. In *Computer Science & Service System (CSSS), 2012 International Conference on* (pp. 631-634). IEEE.
- [47] Kannan, A. A., Mao, G., & Vucetic, B. (2005, November). *Simulated annealing based localization in wireless sensor network*. In *Local Computer Networks, 2005. 30th Anniversary. The IEEE Conference on* (pp. 2-pp). IEEE.
- [48] Montorsi, F., Pancaldi, F., & Vitetta, G. (2014). *Map-Aware Models for Indoor Wireless Localization Systems: An Experimental Study*.

[49] **Algorithme de Dijkstra**, 21 octobre 2008.

[50] **2011 Cisco Connected World Technology Report.**

[51] <http://www.anfr.fr/fr/protection-controle/14-combien-y-a-t-il-dantennes-relais-de-telephonie-mobile-en-france-223.html>.(2014).

[52] DOUDOUX, J, M. **Développons en Java avec Eclipse**. Livre.

[53] Silverio C.Spinella, Antonio Iera & Antonella Molinaro. (2010). *On potentials and limitations of hybrid WLAN-RFID Indoor positioning technique*. University Mediterranea of Reggio Calabria, Italy.

## Résumé

*Ce travail de mémoire s'inscrit dans le contexte de la localisation. L'information de positionnement est intéressante pour fournir aux utilisateurs des services spécifiques au lieu dans lequel ils se trouvent : restaurant ou cinéma le plus proche ? Les applications de localisation ont des besoins spécifiques en termes de couverture et de précision, auxquels une technologie de localisation unique ne peut généralement pas répondre. En combinant plusieurs technologies (et/ou) techniques de localisation, on fournit une nouvelle solution robuste, plus précise pour la localisation.*

*Nous avons proposé dans ce mémoire une approche pour l'hybridation des techniques de localisation, où on a combiné les trois technologies (GPS, WLAN et RFID) afin de garantir un système de positionnement pervasif (n'importe où, n'importe quand), en améliorant le système ABL (Always Best Located) [26]. Les résultats théoriques de cette recherche prouvent que cette approche proposée, peut garantir une estimation plus précise de position de l'utilisateur.*

**Mots clés :** localisation hybride, ABL, HTL, RFID.

## ملخص

هذه الأطروحة تدرج في الإطار العام لتحديد الموقع. معرفة الموقع تعتبر معلومة ضرورية من أجل تزويد المستخدمين بخدمات محددة في المكان الذي يتواجدون فيه : المطعم أو السينما الأقرب ؟ التطبيقات المستندة إلى معرفة الموقع تتطلب احتياجات محددة من حيث التغطية والدقة، والتي عموماً لا يمكن ضمانها باستخدام تكنولوجية واحدة لتحديده، فمن خلال الجمع بين العديد من التقنيات (و / أو) التكنولوجيات المستخدمة لتحديد الموقع، يمكننا ضمان أكثر دقة لتحديده.

في هذه الأطروحة اقترحنا نهجاً جديداً لتعجيل بعض التقنيات المستخدمة لتحديد الموقع. ، حيث أننا جمعنا بين التقنيات الثلاث (GPS، WLAN و RFID) بغية ضمان نظام لتحديد المواقع في أي مكان وفي أي وقت يمكن للمستخدم أن يتواجد فيه ، و هذا من خلال تحسين نظام ABL (Always Best Located) [26]. النتائج النظرية لهذا البحث تبين أن النهج المقترح يمكن أن يضمن تقديرات أكثر دقة لموقع المستخدم، مع انخفاض واضح في إمكانية التحديد الخطأ للموقع.

**كلمات مفتاحية :** التحديد الهجين للموقع ، RFID, HTL, ABL.