

Le positionnement en milieux contraints : signaux d'opportunité ou infrastructure spécifique ?

Indoor positioning: signals of opportunity or local infrastructure?

Nel SAMAMA, Alexandre VERVISCH-PICOIS, Thierry TAILLANDIER-LOIZE

*Laboratoire SAMOVAR, Télécom SudParis, CNRS, Université Paris-Saclay, Evry, France,
nel.samama@telecom-sudparis.eu*

Positionnement, Milieux contraints, Intérieur, Positioning, Indoor.

Résumé/Abstract

Quelles sont les origines des difficultés rencontrées depuis des années dans la recherche d'approches viables à une échelle suffisante pour créer un véritable effet d'entraînement ? Après un état de l'art des techniques et des technologies potentielles, nous montrerons alors, par l'analyse d'une douzaine de paramètres, qu'un nombre réduit de contraintes d'emploi ou de déploiement réduit le choix réel drastiquement.

Afin d'illustrer concrètement notre propos, nous discuterons de trois approches du positionnement. La première repose sur un système de « GNSS Indoor » utilisant la transmission locale de signaux compatibles des récepteurs de navigation par satellites actuels afin de proposer un positionnement de bonne qualité et une continuité du service. La deuxième est à l'opposé en proposant un positionnement non plus continu, mais discrétisé, tant dans l'espace que dans le temps, présentant précision et fiabilité. La troisième est à la base d'un système coopératif, bien plus complexe que les précédents mais qui pourrait être une façon de contourner les limitations mentionnées ci-dessus.

La discussion conclusive synthétise les difficultés à produire une solution industrielle, mais ces dernières reflètent selon nous un intérêt réel limité de la part des parties prenantes qui sont perdues dans le foisonnement d'approches. Nous suggérons alors la création de nouveaux indicateurs de haut niveau, plus proche de l'utilisateur.

What are the origins of the difficulties encountered for years in the search for viable approaches on a sufficient scale in order to create a real industrial deployment? After a state of the art of the potential techniques and technologies, we will then show, by the analysis of twelve parameters, that a reduced number of employment or deployment constraints reduces the real choice drastically.

In order to concretely illustrate our point, we will discuss three approaches to positioning. The first one is based on a " Indoor GNSS " system using local transmission of signals compatible with current receivers in order to offer good quality positioning and continuity of service. The second one is the opposite in proposing a positioning no longer continuous, but punctual, both in space and time, presenting precision and reliability. The third one is the basis of a cooperative system, much more complex than the previous ones but which could be a way to bypass the above mentioned constraints.

The conclusive discussion synthesizes the difficulties in producing an industrial solution, but these in our view reflect a limited interest from the stakeholders, lost by the high number of available solutions. We conclude on the importance to create new high level indicators in order to take care of the real needs of the potential users.

1 Introduction

Notre interrogation porte sur l'absence de fait de solutions de positionnement en intérieur déployées à échelle industrielle dans un cadre grand public. Le constat est d'autant plus surprenant que depuis maintenant plus de vingt ans, de nombreuses communautés, scientifiques et industrielles, se sont attelées au problème. De nombreuses techniques sont explorées comme les ultrasons [1], le WiFi [2] ou encore le radar interférométrique [3]. Les avancées techniques sont indéniables mais la complexité des défis à relever reste grande. Les approches actuelles se tournent ainsi vers la fusion de diverses techniques et technologies. C'est le cas notamment de la combinaison de technologies vairées, allant de l'UWB (Ultra Wide Band) et de l'inertiel [4] à la lumière et les accéléromètres [5], en passant par le WiFi et l'inertiel [6] ou encore l'inertiel et la cartographie [7]. D'autres approches s'orientent vers des systèmes complexes d'analyse de données multiples dans le but de trouver de nouvelles approches. C'est par exemple le cas de systèmes collaboratifs [8] ou de la prise en compte du « crowdsourcing » [9] qui consiste à utiliser les données nombreuses des utilisateurs afin d'améliorer les modèles et les performances. Dans ce foisonnement, certains travaux sont spécifiques comme par exemple la recherche d'une solution de positionnement en intérieur à base de GNSS (Global Navigation Satellite Systems)

et de WiFi et visant une précision centimétrique [10] ou encore l'utilisation d'antennes multiples afin de traiter le cas des trajets multiples [11]. Dans cet ensemble très riche, des synthèses sont utiles et permettent de faire le point sur les travaux en cours [12], [13] ou sur les difficultés rencontrées afin d'implémenter les derniers travaux sur les smartphones actuels [14]. Dans la présente publication, nous allons tenter de montrer que ce sont souvent les contraintes d'emploi et de déploiement qui sont à l'origine de la complexité. En particulier, l'analyse d'une quarantaine de technologies, croisées avec une douzaine de paramètres, montre qu'un travail de fond devrait être mené afin de définir un niveau de contrainte acceptable, sans que ce dernier ne mène à une impasse en termes de technologies. Au minimum, ce travail permettrait de fournir aux technologues et scientifiques des orientations claires sur lesquelles se fixer. Par ailleurs, cette analyse montre également la limite des approches de fusion qui, à quelques exceptions près, ne sont pas de nature à apporter une réponse satisfaisante de part la faiblesse des complémentarités possibles.

Dans une seconde partie, nous prendrons exemple de trois approches afin de montrer que si l'on ne « relâche » pas un peu les contraintes, les difficultés actuelles sont susceptibles de ne pas se résorber à court terme. Le premier système est un GNSS d'intérieur, le deuxième un système de proximité utilisant une technologie NFC (Near Field Communication) et le troisième un système coopératif utilisant des échanges radio afin de déterminer de proche en proche un positionnement relatif des diverses entités d'un réseau d'objets communicants. Avec les contraintes actuelles, à savoir une disponibilité sur smartphone, au moins à relativement court terme, un positionnement en continu et une relative absence d'infrastructure spécifique à déployer, les deux premières approches sont disqualifiées, la troisième nécessitant un effort de développement important.

2 Un nombre très important de technologies disponibles

Les technologies étudiées vont des accéléromètres aux systèmes de réseaux sans fil dits symboliques (pour lesquels le positionnement est donné sous la forme d'une pièce ou d'un ensemble de pièces plutôt que par des coordonnées). Sans toutes les citer, notons cependant qu'elles regroupent les systèmes inertiels (accéléromètres, gyromètres, magnétomètres), les approches à base de traitement ou d'analyse d'images (marqueurs, déplacement, SLAM – pour Simultaneous Localisation And Mapping - ou encore reconnaissance), les systèmes radio (depuis les 3 et 4G jusqu'aux signaux radio d'opportunité en passant par le WiFi ou le Bluetooth, la télévision ou la radio FM) ou encore optoélectroniques comme le Laser, le Lidar ou le LiFi (Light Fidelity). D'autres types de mesures physiques sont également présents comme ceux liés au son ou aux ultrasons, à la pression atmosphérique ou encore aux infrarouges. Les systèmes d'étiquettes électroniques RFID (Radio Frequency Identification) sont également incluses, tout comme les signaux dits à faible puissance et longue portée (LPWAN – Low Power Wide Area Networks) des systèmes SiFox ou LoRa. Les réseaux filaires sont également pris en compte car il est possible de déterminer une position par identification, dans certains cas, de l'adresse IP (Internet Protocole) d'une connexion. Nous avons aussi pris en compte les systèmes de grande proximité comme les cartes sans contact ou même les cartes bancaires. Enfin il semblait difficile d'oublier totalement les GNSS qui sont quand même à la base des interrogations actuelles sur la continuité du service de positionnement entre l'extérieur et l'intérieur.

Par ailleurs, pour chacune de ces quarante technologies, une douzaine de paramètres ont été renseignés. Dans une première série on trouve la maturité de l'infrastructure à déployer le cas échéant, la maturité technologique du terminal associé, le type de positionnement (relatif, absolu ou symbolique), le fait que le terminal puisse être un smartphone à plus ou moins court terme, la sensibilité du système de positionnement en intérieur à l'environnement ou encore le besoin en calibration de la solution. Dans la seconde série, on retrouve la précision de positionnement, la fiabilité de ce dernier, le mode de positionnement (de « continu » à « réclamant l'action de l'utilisateur »), le type de traitement réalisé (modélisation de la propagation, analyse d'image ou encore détection physique), le type de calcul mené (intersection géométrique de sphères ou de plans, fonction mathématique comme intégration par exemple, ou encore calcul ponctuel de proximité) et enfin la mesure physique réalisée.

C'est alors sur ces paramètres qu'il est possible de mettre quelques contraintes afin de sélectionner les technologies répondant au(x) critère(s). Dans un premier exemple, nous cherchons à extraire les technologies qui répondent à une infrastructure existante, une précision décimétrique, une intégration sur smartphone aisée même si elle n'existe pas forcément déjà et un mode de positionnement continu pour ressembler au GNSS. Le résultat donne neuf technologies. Le tableau 1 détaille les six premiers critères et le tableau 2 les six suivants.

Il est à noter que l'on retrouve les technologies qui sont le plus souvent employées comme le BLE ou le WiFi. Il est intéressant de remarquer également que les critères sont généraux et que dans une approche de type fusion, il faudra certainement considérer des technologies du même groupe. Par exemple BLE et Capteur de pression afin de déterminer un positionnement en 3D (3 dimensions) fiable. Certaines de ces technologies restent cependant délicates à mettre en œuvre dans un environnement instable, comme par exemple les ultrasons qui seront inexploitable au milieu de personnes se déplaçant. Les techniques de traitement d'images sont très performantes

mais réclament là encore des conditions d'emploi (bonne visibilité, images très nettes, calibrations initiales) contraignantes.

<i>Technologies</i>	<i>Maturité infrastructure</i>	<i>Maturité terminal</i>	<i>Type de positionnement</i>	<i>Smartphone</i>	<i>Sensibilité à l'environnement</i>	<i>Besoin en calibration</i>
BLE	existant	Dév logiciel	absolu	existant	élevée	plusieurs fois
Image marqueurs	-	Dév logiciel.	absolu	existant	très élevée	une fois
Image dépl. rel.	-	Dév logiciel	relatif	existant	élevée	plusieurs fois
Image SLAM	-	Dév logiciel	relatif	existant	élevée	plusieurs fois
Pressure	-	existant	relatif	facile	pas d'impact	plusieurs fois
RFID	existant	Dév logiciel	absolu	facile	faible	-
Ultra Son	existant	intégration	absolu	facile	très élevée	-
WiFi	existant	Dév logiciel.	absolu	existant	élevée	plusieurs fois
WLAN symbolique	existant	Dév logiciel	symbolique	existant	faible	-

Tableau 1 : Technologies pour lesquelles infrastructure et disponibilité sur smartphone sont presque assurées

<i>Technologies</i>	<i>Précision</i>	<i>Fiabilité</i>	<i>Mode de positionnement</i>	<i>Traitement</i>	<i>Calcul</i>	<i>Physique</i>
BLE	qq m	moyenne	~ continu	pattern matcing.	fonctions math.	ElectroMagnétique
Image marqueurs	< 1m	moyenne	~ continu	combinaison	matrices	capteur image
Image dépl. rel.	< 1m	moyenne	~ continu	combinaison	fonctions math.	capteur image
Image SLAM	< 1m	moyenne	~ continu	combinaison	fonctions math.	capteur image
Pressure	1m	élevée	continu	détection	zone	capteur φ
RFID	dm	élevée	~ continu	détection	ponctuel	ElectroMagnétique
Ultra Son	qq dm	faible	continu	propagation	\cap sphères	mécanique
WiFi	qq m	moyenne	continu	pattern matching	fonctions math.	ElectroMagnétique
WLAN symbolique	dam	élevée +	continu	propagation	zone	ElectroMagnétique

Tableau 2 : Technologies proposant une précision décimétrique en quasi-continu

Il serait cependant possible d'aborder d'autres critères. Le second exemple considère un système existant sur les smartphones actuels, dont la sensibilité à l'environnement est faible et dont la fiabilité est très élevée. Les tableaux 3 et 4 résument les résultats pour les cinq technologies concernées.

<i>Technologies</i>	<i>Maturité infrastructure</i>	<i>Maturité terminal</i>	<i>Type de positionnement</i>	<i>Smartphone</i>	<i>Sensibilité à l'environnement</i>	<i>Besoin en calibration</i>
Codes bar	existant	Dév logiciel	absolu	existant	faible	-
Cartes de crédit	existant	existant	absolu	existant	-	-
NFC	existant	Dév logiciel	absolu	existant	-	-
QR codes	- existant	Dév logiciel	absolu	existant	faible	-
WLAN symbolique	existant	Dév logiciel	symbolique	existant	faible	-

Tableau 3 : Technologies disponibles sur smartphone et peu impactées par leur environnement

<i>Technologies</i>	<i>Précision</i>	<i>Fiabilité</i>	<i>Mode de positionnement</i>	<i>Traitement</i>	<i>Calcul</i>	<i>Physique</i>
Codes bar	dm	élevée +	action utilisateur	pattern recognition	ponctuel	capteur image
Cartes de crédit	qq cm	élevée +	discret	détection	ponctuel	électronique
NFC	qq cm	élevée +	action utilisateur	détection	ponctuel	ElectroMagnétique
QR codes	dm	élevée +	action utilisateur	pattern recognition	ponctuel	capteur image
WLAN symbolique	dam	élevée +	continu	propagation	zone	ElectroMagnétique

Tableau 4 : Technologies proposant fiabilité très élevée

Nous obtenons une liste très différente (seule la WiFi symbolique est présente dans les deux sélections). Il semble ainsi que des critères de mise en œuvre classiques soient de nature à éliminer rapidement nombre de technologies.

3 Un « radar » GNSS inversé

Une approche moins classique que celles apparaissant dans les tableaux précédents repose sur la mise en place de transmetteurs de signaux de type GNSS en intérieur. Ces signaux sont transmis par des antennes doubles émettant chacune l'équivalent du signal d'un satellite (c'est-à-dire ayant un code déterminé). Les deux antennes sont cependant parfaitement synchronisées entre elles localement. Le récepteur est un smartphone actuel équipé d'Android à partir de la version 7 permettant d'accéder aux mesures de phases des porteuses. Le traitement consiste simplement en la différence des phases des deux porteuses. Les deux antennes étant séparées de moins d'une longueur d'onde, la mesure de cette différence de distances aux deux antennes est non ambiguë. On montre que le lieu des points obtenu pour une même différence de phases est caractérisé par une quadrique et forme géométriquement un hyperboloïde de révolution. En deux dimensions, cela se traduit par des hyperboles comme exposé à la figure 1.

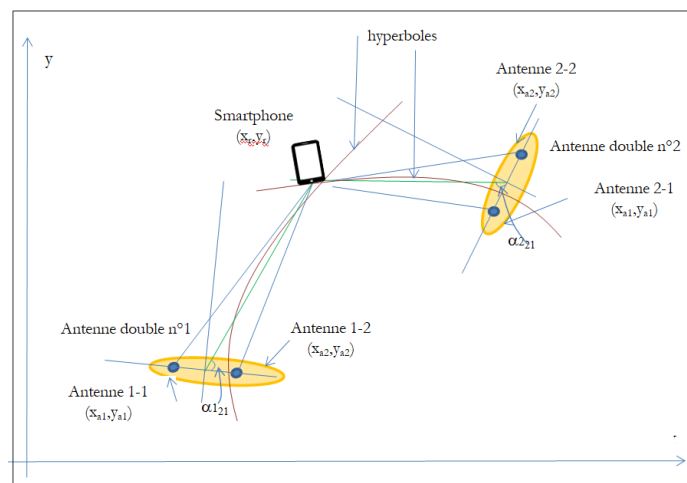


Figure 1 : Principe du radar inversé en deux dimensions

Les mesures faites à partir d'une antenne double permettent alternativement de déterminer l'angle de visée du smartphone vu de l'antenne double. Afin de positionner le smartphone, il est nécessaire d'effectuer une deuxième mesure (puis une troisième en trois dimensions) qui fournira un deuxième angle à partir de la deuxième antenne double. Il faut noter que les mesures des deux antennes doubles sont totalement indépendantes et que ces dernières n'ont pas besoin d'être synchronisées : c'est en fait le smartphone qui établit la cohérence temporelle du système.

Les avantages d'un tel système sont réels : continuité parfaite avec les GNSS utilisés en extérieur, utilisation des smartphones actuels, précision décimétrique possible, pas de synchronisation nécessaire. Cependant, il présente deux difficultés dans la perception actuelle des choses : le besoin d'une infrastructure à déployer et l'utilisation de signaux radio qui restent sensibles à l'environnement de propagation. De plus, les rares industriels qui ont proposé des approches similaires n'ont pas rencontré le succès, n'incitant pas de nouveaux acteurs à se lancer.

4 Un système NFC distribué et sa cartographie

Une approche, très différente, consiste à inclure l'utilisateur dans le système et à lui demander une action spécifique. En l'occurrence, il s'agit pour ce dernier de « flasher » un QR Codes (Quick Response Code) ou une étiquette NFC. Ces éléments sont repérés, grâce à leur identifiant unique, géographiquement dans une cartographie de l'environnement. Le fait qu'il soit nécessaire de s'approcher relativement près des étiquettes rend le système très précis, mais avec un positionnement qui est cette fois discontinu dans le temps et dans l'espace. Il semble que cette contrainte puisse être acceptée dans des sites piétons de complexité réduite car le besoin dans ce cas est principalement d'avoir une carte numérique, de savoir spécifier son emplacement et d'obtenir en retour un itinéraire particulier. Tout ceci est disponible.

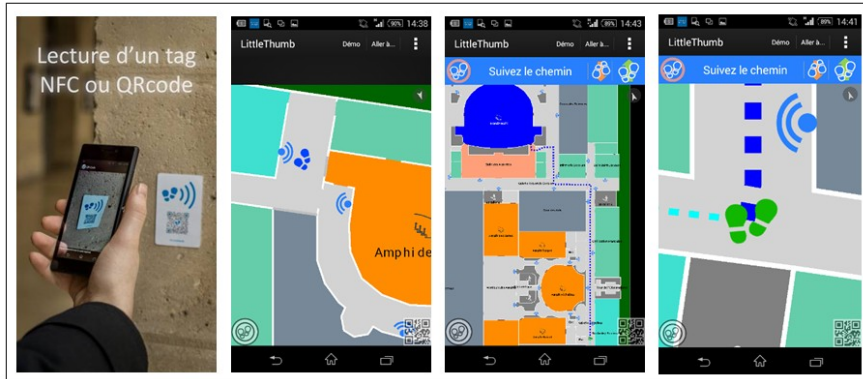


Figure 2 : Une approche à l'initiative de l'utilisateur

La cartographie est un élément majeur de tous les systèmes. Il ne s'agit pas d'une image, mais d'une structure permettant l'association d'attributs aux divers objets que sont les pièces, les couloirs ou les locaux techniques. Ces attributs vont d'une dénomination à des caractéristiques liées à la vitesse de déplacement possible dans l'objet. Il sera également important de permettre, en plus du calcul d'un itinéraire, l'estimation du temps de parcours associé. Dans l'exemple présenté à la figure 2, le magnétomètre du terminal, un smartphone ici, est utilisé afin de fournir une indication d'orientation à l'utilisateur qui ne sait pas forcément dans quel sens partir. Les « petits pieds » caractérisant l'utilisateur passent alors au vert. Ensuite, le guidage n'est plus réalisée automatiquement : si l'utilisateur en ressent le besoin, il devra alors trouver une nouvelle étiquette pour se « recalier ». Un couplage reste possible avec soit des réseaux WiFi ou Bluetooth, soit avec un compteur de pas (fondé sur l'utilisation d'accéléromètres) pour enrichir l'expérience utilisateur.

Ce système a un coût de déploiement réduit, présente une très grande fiabilité et peut être disponible immédiatement. Cependant, il n'est pas dans la logique actuelle qui se concentre sur la continuité avec les GNSS, en particulier dans leurs aspects temporel et spatial.

5 Une approche coopérative entre terminaux communicants

Dans cette troisième version, le système cherche à calculer les positions relatives de nœuds communicants les uns par rapport aux autres. Le nœud A (en bas à gauche sur la figure 3) est la référence. Tous les nœuds estiment leur Doppler par rapport à A lorsqu'ils sont en déplacement. Par ailleurs, ils sont également constitués d'antenne de réception double permettant une estimation de l'angle d'arrivée des signaux reçus des autres nœuds. Tous les nœuds ne reçoivent pas forcément l'ensemble des signaux. La résolution géographique du système repose ici sur le calcul des divers angles repérés par des nombres sur la figure 3 (reproduite en deux dimensions pour des raisons de facilité de lecture). Ces derniers sont au nombre de 14 et il nous faut ainsi obtenir suffisamment de relations pour permettre le calcul. Cette géométrie comporte cependant de très nombreuses symétries et c'est là que les antennes doubles ont un rôle important. Même en situation statique, il est possible de croiser par couple de deux antennes doubles les mesures des signaux des autres nœuds. Il s'agit d'une approche qui ressemble au radar inversé par certains aspects, mais ici avec des entités mobiles dont les coordonnées sont inconnues.

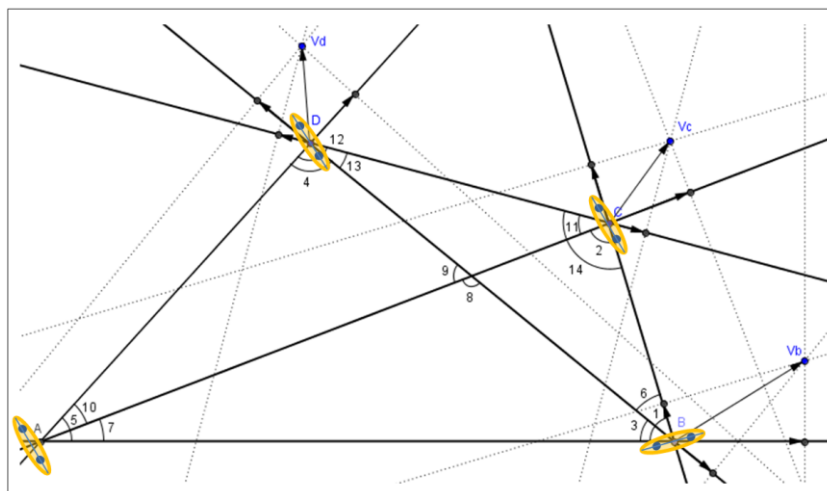


Figure 3 : Un modèle coopératif échangeant Doppler et angles d'arrivée relatifs

Trois difficultés techniques se présentent. Les mesures d'angles d'arrivée sont obtenues dans des référentiels différents, propres à chaque nœud. L'attitude, c'est-à-dire l'orientation en trois dimensions, de chaque nœud est quelconque. Enfin le calcul des intersections d'hyperboloïdes lorsque l'on est en trois dimensions se révèle particulièrement complexe dans le cas général. Une solution consiste à coupler ces mesures avec une détermination en temps réel de l'attitude de chaque nœud grâce à d'autres capteurs. Dans le cas de smartphones par exemple, ce calcul est rendu possible par la présence d'accéléromètres et de magnétomètres qui autorisent une estimation de l'attitude du récepteur. Les erreurs de positionnement résultant de l'imprécision de ces mesures restent cependant un sujet d'étude.

Dans une telle approche, il devient difficile d'imaginer que les mesures et calculs soient gérés par chaque nœud, qui devrait de plus récupérer l'ensemble des mesures réalisées. Cela générerait un trafic télécom particulièrement important. Une entité de supervision serait sans doute plus appropriée, mais réduirait de fait le côté coopératif qui peut s'entendre également par « non supervisé ». Ceci reste ouvert à discussion. Une solution consisterait alors à désigner en début de processus, le nœud qui aurait ce rôle de supervision d'un mini-réseau coopératif.

Un autre avantage de cette approche repose sur sa capacité à détecter des trajets non directs. Il est courant de nommer les trajets entre un émetteur et un récepteur, quelque soit la technologie employée, par soit LOS (Line Of Sight) dans le cas de l'absence totale d'obstacle, soit NLOS (Non Line Of Sight) dans le cas contraire. Afin de conserver à une technique ses performances nominales, il est en général nécessaire d'être en mesure d'identifier les cas NLOS, ce qui est une réelle difficulté technique qui réclame souvent la disponibilité d'une forte redondance de mesures. Dans le cas présent, les mesures d'angles d'arrivée sur deux nœuds quelconques doivent présenter une cohérence spatiale (ou géométrique) qu'il est possible d'estimer. Ainsi, sauf dans le cas de trajets non directs qui se traduiraient par des valeurs identiques à celles qu'elles auraient dues être (ce qui est très peu probable mais pas impossible), les cas NLOS devraient être identifiables aisément.

Nous voyons bien la complexité de cette approche d'un point de vue organisation des échanges, mesures, calculs et télécommunication. Certains nœuds seraient superviseurs d'un mini-réseau mais également potentiellement membres d'autres mini-réseaux. Ceci reste possible en théorie mais l'implémentation pratique est un défi. Par ailleurs, les mesures seront entachées d'erreurs très variables suivant les configurations environnementales des divers nœuds. Un mécanisme d'estimation de l'importance de ces erreurs puis d'élimination des plus dommageables devrait exister : ce dernier est une difficulté supplémentaire. Enfin, de tels terminaux ne sont pas encore disponibles et les outils de mesure associés non plus.

6 Discussions sur la « meilleure » solution

Nous ne nous sommes pas encore intéressés au paramètre « précision » qui est pourtant l'un des premiers à être mis en avant. La principale raison est qu'il existe une différence souvent importante entre les spécifications données par les équipes de développement ou de recherche et la réalité. Ceci est en général dû aux choix des environnements de tests retenus qui avantagent les uns au détriment des autres. Par ailleurs, ce paramètre devrait être associé à un second relatif à la fiabilité du positionnement. Par exemple, lorsque ce dernier dépend très fortement de l'environnement dans lequel se trouve l'utilisateur, cela réduit la fiabilité, sauf à avoir une mesure de cet environnement. C'est peut-être une voie ouverte pour les approches orientées « data science » actuelles.

Si nous revenons à la question initiale de savoir s'il vaut mieux une infrastructure locale ou des signaux d'opportunité, la réponse est immédiate : signaux d'opportunité. Cependant, tous les systèmes proposés jusqu'à présent avec cette orientation n'ont pas trouvé leur place et les solutions les plus déployées aujourd'hui restent fondées sur le déploiement de bornes spécifiques. La littérature sur les approches fusionnant diverses technologies est très importante, avec en particulier les systèmes inertiels. Ces derniers présentent en effet des caractéristiques idéales : mesures disponibles partout et à tout moment, qui de plus ne dépendent d'aucune infrastructure et ils sont d'ors et déjà présents dans les smartphones. Malheureusement, ils réclament une calibration d'autant plus fréquente que la qualité des capteurs est réduite, ce qui est le cas aujourd'hui sur ceux des smartphones.

Nous avons montré sur quelques exemples que certaines contraintes (disponibilité, maturité des technologies, fiabilité du positionnement, etc.) étaient très fortes. Les orientations qui se dégagent des travaux des nombreuses communautés impliquées [13] montrent clairement que les difficultés pratiques de mise en œuvre présente un frein aux développements industriels des approches scientifiques et techniques. Parmi les trois approches présentées dans le présent document, aucune ne semble répondre au problème, soit par besoin de déployer une infrastructure spécifique, soit par nécessité d'une action de la part de l'utilisateur et par le fait que le positionnement n'est pas continu dans le temps, ou encore par une architecture réseau non encore mature. Ces trois systèmes ne sont par ailleurs qu'une infime partie des solutions proposées.

Et si la raison de cette absence d'éclosion était ailleurs, dans en fait un intérêt réel très limité, ou une difficulté à extraire des besoins pressentis des lignes fortes qui constitueraient des orientations pour les chercheurs. Le constat semble paradoxal : l'attente pour un système de positionnement en intérieur est grand, les solutions proposées extrêmement nombreuses, mais la majorité des déploiements se concluent par un abandon progressif du dispositif mis en place et de l'application associée. Notre vision est que les besoins ne sont pas suffisamment bien spécifiés. Par exemple les performances requises sont certainement très différentes en fonction de l'usage qui est planifié. Le guidage de personnes malvoyantes dans un hôpital ne réclame pas les mêmes caractéristiques que la détection et le comptage des personnes passant devant un étalage. Cependant, la synthèse n'existe pas et ce sont souvent les chercheurs eux-mêmes qui édictent les spécifications de leur système. La rencontre entre le besoin non exprimé et la solution développée par ailleurs ne se réalise ainsi souvent pas.

De temps en temps, cette rencontre s'opère dans des cas particuliers et alors des solutions techniques sont trouvées. Cependant, sans une vision plus large, les solutions restent spécifiques. La rédaction d'un ensemble, ou de plusieurs ensembles, de spécifications qui permettraient de produire un marché suffisant et concret pour provoquer un déploiement à grande échelle est une tâche importante. Elle devrait réunir de nombreuses communautés (utilisateurs, industriels, chercheurs, etc.) et pourrait faire l'objet d'un travail institutionnel. Pour notre part, nous pouvons lancer quelques pistes de réflexion.

Tout d'abord, il nous semble que les contraintes devraient plutôt être opérationnelles que techniques. La complexité de déploiement, la sensibilité des performances aux environnements, et donc la fiabilité des performances, sont des éléments déterminants dans la perception de la solution. La constitution d'une « fiche commune » de performance permettant de comparer les technologies les unes aux autres serait très utile. Les critères d'une telle liste seraient certainement de haut niveau et orientés vers l'utilisateur. Un exemple intéressant est le projet MALIN de l'ANR [15] qui instaure des « défis » et envisage de comparer des technologies dans des cadres de mises en œuvre réels. Les critères à considérer sont sans doute également des combinaisons de critères, comme par exemple « précision et fiabilité », ou « type de positionnement et terminal ». Nous proposons de plus une classification qui permette de percevoir immédiatement la complexité d'un déploiement réel sous la forme d'un critère « couverture ». Ce dernier qualifie la portée typique de la technologie proposée sous la forme d'une donnée d'environnement : pièce, ensemble de pièces, bâtiment, ensemble de bâtiments, site, etc. Il serait également nécessaire d'associer ce critère avec un nombre de « composants » à déployer. Enfin, un paramètre sur l'efficacité énergétique de l'approche, tant pour l'éventuelle infrastructure que pour le terminal, serait utile.

7 Conclusion

Le domaine du positionnement en intérieur implique de larges communautés et propose de nombreuses solutions techniques. La différence fondamentale avec l'extérieur où les GNSS ont pris le monopôle réside dans la très grande diversité de situations. Le besoin est régulièrement rapporté mais les investissements nécessaires se heurtent souvent à l'histoire : le positionnement n'ayant pas été disponible (et ne l'étant toujours pas vraiment), les choses se sont mises en place sans lui. Quel serait ainsi l'investissement acceptable pour un besoin qui n'est en fait pas fondamental pour le moment ?

Après une analyse des technologies potentielles fondée sur l'observation de critères de haut niveau, il nous apparaît un manque de spécifications réelles, ainsi qu'une utilisation de critères bas niveau peu opérant sur les gestionnaires de bâtiments, interlocuteurs incontournables du problème. Nous proposons ainsi la création concertée d'une liste de critères mixtes qui permette une comparaison dans des conditions similaires (et représentatives) des diverses technologies. Une telle entreprise nécessite une coordination que nous appelons de nos vœux et à laquelle nous sommes prêts à prendre de notre part.

8 Références bibliographiques

[1] Alessio De Angelis; Antonio Moschitta; Paolo Carbone; Massimo Calderini; Stefano Neri; Renato Borgna; Manuele Peppucci, "Design and Characterization of a Portable Ultrasonic Indoor 3-D Positioning System," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume 64, Issue 10, Pages 2616 – 2625, 2015.

[2] Suining He; S. -H. Gary Chan, "Wi-Fi Fingerprint-Based Indoor Positioning: Recent Advances and Comparisons," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, Volume 18, Issue 1, Pages 466 – 490, 2016.

[3] Guochao Wang; Changzhan Gu; Takao Inoue; Changzhi Li, "A Hybrid FMCW-Interferometry Radar for Indoor Precise Positioning and Versatile Life Activity Monitoring," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Volume 62, Issue 11, Pages 2812 – 2822, 2014.

[4] Manon Kok; Jeroen D. Hol; Thomas B. Schön, "Indoor Positioning Using Ultra wide band and Inertial Measurements," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 64, Issue 4, Pages 1293 – 1303, 2015.

- [5] Muhammad Yasir; Siu-Wai Ho; Badri N. Vellambi, "Indoor Positioning System Using Visible Light and Accelerometer," in *Journal of Lightwave Technology*, Volume 32, Issue 19, Pages 3306 – 3316, 2014.
- [6] Lyu-Han Chen; Eric Hsiao-Kuang Wu; Ming-Hui Jin; Gen-Huey Chen, "Intelligent Fusion of Wi-Fi and Inertial Sensor-Based Positioning Systems for Indoor Pedestrian Navigation," in *IEEE Sensors Journal*, Volume 14, Issue 11, Pages 4034 – 4042, 2014.
- [7] Arto Perttula; Helena Leppäkoski; Martti Kirkko-Jaakkola; Pavel Davidson; Jussi Collin; Jarmo Takala, "Distributed Indoor Positioning System With Inertial Measurements and Map Matching," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 63, Issue 11, Pages 2682 – 2695, 2014.
- [8] Youngtae Noh; Hirozumi Yamaguchi; Uichin Lee, "Infrastructure-Free Collaborative Indoor Positioning Scheme for Time-Critical Team Operations," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, Volume 48, Issue 3, Pages 418 – 432, 2018.
- [9] Yuan Zhuang; Zainab Syed; You Li; Naser El-Sheimy, "Evaluation of Two WiFi Positioning Systems Based on Autonomous Crowdsourcing of Handheld Devices for Indoor Navigation," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Volume 15, Issue 8, Pages 1982 – 1995, 2016.
- [10] Chen Chen; Yi Han; Yan Chen; K. J. Ray Liu, "Indoor Global Positioning System with Centimeter Accuracy Using Wi-Fi," in *IEEE Signal Processing Magazine*, Volume 33, Issue 6, Pages 128 – 134, 2016.
- [11] Abdo Gaber; Abbas Omar, "Utilization of Multiple-Antenna Multicarrier Systems and NLOS Mitigation for Accurate Wireless Indoor Positioning," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Volume 15, Issue 10, Pages 6570 – 6584, 2016.
- [12] Qi Liu; Jiahui Qiu; Yi Chen, "Research and development of indoor positioning," in *China Communications*, Volume 13, Issue 2, Pages 67 – 79, 2016.
- [13] Davide Dardari; Pau Closas; Petar M. Djuric, "Indoor Tracking: Theory, Methods, and Technologies," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 64, Issue 4, Pages 1263 – 1278, 2015.
- [14] Pavel Davidson; Robert Piché, "A Survey of Selected Indoor Positioning Methods for Smartphones," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Volume 19, Issue 2, Pages 1347 – 1370, 2017.
- [15] <http://www.agence-nationale-recherche.fr/suivi-bilan/historique-des-appels-a-projets/appel-detail1/challenge-maitrise-de-la-localisation-indoor-malin-2017/>