

Indoor Positioning System

Projet Recherche

Mathieu Dutour

ABSTRACT

Parmi les technologies de géolocalisation, la plus populaire de nos jours est le GPS. C'est un système de localisation satellitaire construit pour un environnement extérieur. De ce fait, ses performances en intérieurs sont plutôt mauvaises. Ceci est dû aux matériaux de construction qui bloquent la plupart des signaux GPS. La géolocalisation indoor est donc pour le moment un domaine très ouvert où aucune des technologies actuellement développées n'a pris de réel avantage. Le but de cette étude est de démontrer la faisabilité d'une localisation utilisant la RFID en tant que technologie active.

Table des matières

I - Antériorité	4
i – Technologies de positionnement.....	4
A) Positionnement passif.....	4
a) Filmer les allées.....	4
b) Le « Smart Floor ».....	5
c) Différence de pression de l'air.....	5
d) RFID.....	6
B) Positionnement actif.....	6
a) BlueTooth.....	6
c) RFID	7
d) Infra-rouge	7
e) Le « Bat Ultrasonic Location System ».....	8
f) Répéteur GPS.....	8
g) Accéléromètre.....	8
ii – Méthodes de positionnement actif.....	9
A) Cell identity (Cell-ID).....	9
B) Time of Arrival (TOA)	9
C) Time Difference of Arrival (TDOA).....	9
D) Angle of Arrival (AOA).....	10
E) Received Signal Strength (RSS).....	10
II - Modélisation du système	12
III - Algorithme de positionnement.....	12
i - Fonctionnement de l'algorithme	13
ii - Initialisation de la position	13
iii - Calcul des distances.....	14
iv - Calcul de l'erreur de positionnement.....	15
v - Ajustement de l'estimation de la position	15
vi - Terminaison de l'algorithme	17
IV - Simulation	17
V - Résultat	18
VI - Conclusion	21

VII – Bibliographie.....	22
---------------------------------	-----------

I - Antériorité

Il existe différents types de technologie de géolocalisation comme le Global Positioning System (GPS), les systèmes de positionnement par téléphone cellulaire, par le Wi-Fi, par la RFID, etc.. Toutes ces technologies ont différentes couvertures, différentes applications, et limitations. Globalement, la couverture d'un système de géolocalisation est inversement proportionnel à sa précision.

Parmi les technologies de géolocalisation, la plus populaire de nos jours est le GPS. C'est un système de localisation satellitaire construit pour un environnement extérieur. De ce fait, ses performances en intérieurs sont plutôt mauvaises. Ceci est dû aux matériaux de construction qui bloquent la plupart des signaux GPS.

La géolocalisation indoor est donc pour le moment un domaine très ouvert où aucune des technologies actuellement développées n'a pris de réel avantage.

i – Technologies de positionnement

Les technologies de positionnement peuvent être réparties en deux grandes catégories :

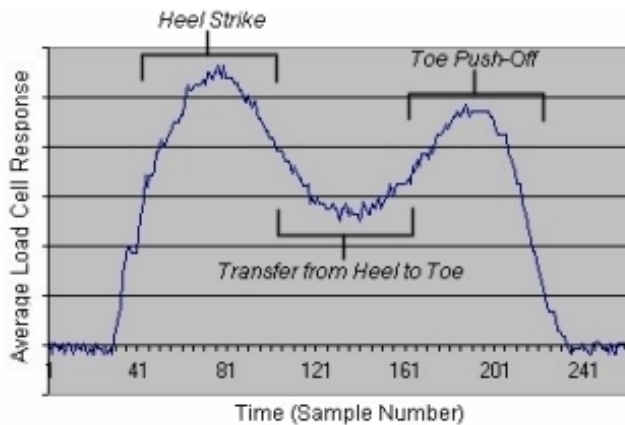
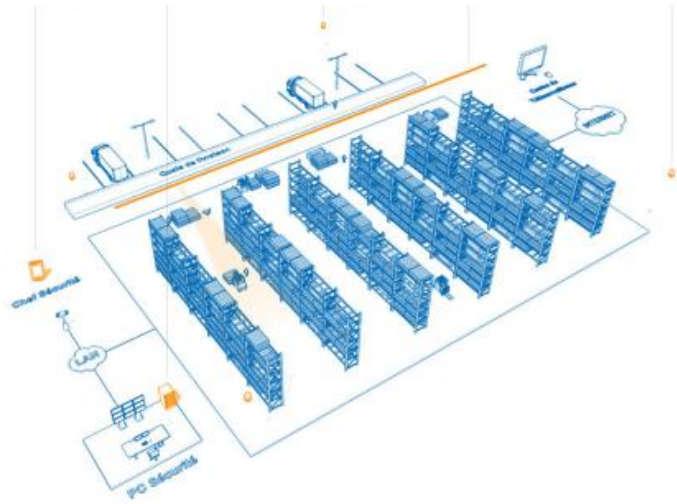
- La première, appelée ici positionnement passif, permet à l'utilisateur d'être autonome en énergie. Cela veut dire qu'il ne porte pas d'appareil énergivore. Les points d'accès (PA) ou stations de base (BS) sont par contre actifs car ce sont eux qui calculent la position. Ainsi, l'utilisateur n'a pas d'accès direct à sa position.
- La seconde, appelé ici positionnement actif, peut permettre à l'utilisateur d'avoir un accès direct à sa position. Mais cela n'est pas toujours le cas suivant la présence ou non de PA ou BS actifs dans lesquels est déporté le calcul de la position. Dans tous les cas, l'utilisateur porte un appareil énergivore.

A) Positionnement passif

a) Filmer les allées

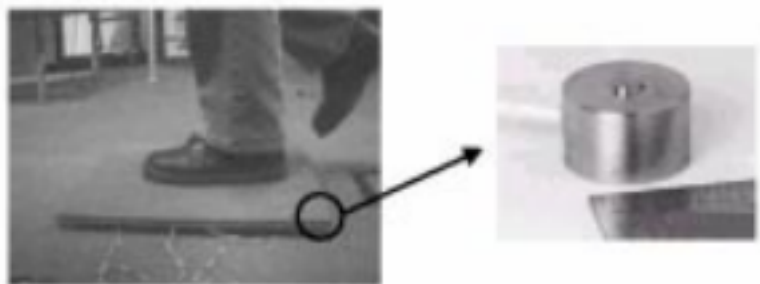
Une des technologies actuellement développées est le filmage du lieu considéré (exemple : dans les métros pour vérifier que personne ne tombe sur les voies). Le principe est, grâce à un algorithme de reconnaissance de forme, repérer sur la vidéo en temps réel une forme humaine puis, sachant la disposition de l'entrepôt, on peut positionner cette forme dans l'espace. Couplé à un algorithme de reconnaissance faciale, on peut déterminer la position et l'identité d'un individu.

L'avantage de cette technique est bien entendu la précision qui peut atteindre le centimètre à condition d'installer plusieurs caméras pour recouper les positions. Ce qui amène un désavantage. En effet, si l'on veut une précision suffisante, le coût augmente puisqu'il ne faudrait pas moins de 2 caméras par allée et dans un entrepôt d'une taille conséquente, cela fait un nombre gigantesque de caméras et de données à traiter.



tests et ont montré que la chaussure n'avait pas de réelle influence sur le profil de pression exercé par le pied et ont réussi à atteindre une précision de 93% dans la reconnaissance des personnes passant sur le smart floor après avoir créé leur profil de pression.

Aucune indication de coût n'est donnée mais bien qu'un capteur de pression de coût pas grand chose, en recouvrir tout le sol d'un entrepôt est autre chose, sans parler des difficultés d'installations et de durabilité.



b) Le « Smart Floor »

Le smart floor est une recherche datant de 1999. Son principe est de répartir des plaques de pression sur l'ensemble du sol. Lorsque l'opérateur marche, la plaque de pression s'enclenche et grâce au profil de pression du pied de l'opérateur, le système parvient à définir qui appui et donc on obtient sa position.

Les chercheurs ont réalisé plusieurs

c) Différence de pression de l'air

Un autre axe de recherche pour une technologie « device free » est le positionnement par différence de pression. En effet, lorsqu'un individu se déplace, il crée un mouvement d'air qui engendre des pressions et des dépressions. Celles-ci peuvent être détectées grâce à des capteurs de pression puis interprétées pour déterminer la position de l'individu.

Cette interprétation suppose que l'environnement est fermé et que les mouvements d'air sont seulement dus aux déplacements des individus ou bien à une ventilation dont on connaît les caractéristiques. Cette hypothèse est trop forte pour fonctionner dans un environnement aussi ouvert qu'un entrepôt.

d) RFID

La géolocalisation par puce RFID n'est pas neuve, on l'utilise depuis longtemps dans toute sorte de domaine. L'utilisateur porte une puce RFID qui est passive et qui est seulement activée en présence d'ondes émises par des émetteurs (PA) dont elle tire la puissance nécessaire à son fonctionnement. Utilisée en tant que technologie de positionnement passif, deux grands axes se dégagent : une localisation discrète (c'est à dire que l'on ne connaît pas la position à tout instant) qui utilise des fréquences relativement basses (125 à 135KHz), et une localisation continue qui utilise des fréquences



beaucoup plus élevées (jusqu'à 2,4 GHz).

La solution discrète est constituée d'émetteurs d'ondes positionnés à des endroits stratégiques qui vont émettre une onde de courte portée activant une puce que transporte l'opérateur. À ce moment là, on sait que l'opérateur est devant l'émetteur. Cette technique est surtout utilisée pour savoir dans quelle pièce est telle personne.

La solution continue consiste à multiplier les émetteurs, qui cette fois envoient des ondes de plus longues portées (jusqu'à 5m), pour permettre une localisation par les différentes méthodes décrites dans la partie II.

Cette approche ne convient pas à notre problématique d'autant plus qu'elle est relativement chère car elle incite à une multiplication des émetteurs d'onde qui sont plus chers que les simples puces.

B) Positionnement actif

a) BlueTooth

Cette technologie est actuellement poussée par Nokia qui souhaite en faire le standard de la localisation indoor. Pour autant, aucun autre grand acteur économique n'a pris la décision de suivre cette voie, chacun essayant d'instaurer son propre standard. Toutes les méthodes de positionnement décrites en partie II sont utilisables même si Nokia n'utilise que la triangulation.

b) WI-FI

La localisation par Wi-Fi est déjà utilisée dans la plupart des smartphones. La localisation est déterminée par la puissance du signal reçue de la source par plusieurs récepteurs. C'est la méthode la plus souvent utilisée en Wi-Fi, elle suppose cependant que le modèle d'atténuation des lieux (obstacles, murs, etc.) soit bien connu, ou appris par calibration. On va alors modéliser l'ensemble des lieux où l'on veut avoir de la géolocalisation en faisant une série de calibration de

chaque point de localisation. Le système va alors pour chaque mesure de la source rechercher dans son modèle le point le plus « proche » de la mesure et positionner la source sur le point (cf. partie II). Cette solution demande un gros travail de modélisation mais a un coût d'installation nul puisque le Wi-Fi est déjà utilisé dans le système « pick-by-voice ». L'inconvénient est la précision : on atteint des mesures précises de 1 à 5 mètres près ce qui n'est pas suffisant pour notre application.



c) RFID

La géolocalisation par RFID telle que décrite en tant que positionnement passif présentait l'inconvénient de la multiplication des émetteurs RFID très onéreux comparés aux puces RFID.



En tant que positionnement actif, l'utilisateur n'a plus le même rôle : à la place de porter une puce, il porte un émetteur d'ondes. Ainsi, en sachant quelles puces (disséminées en quantité dans tout l'entrepôt) sont activées, on parvient à déduire la position de l'émetteur grâce à l'une des méthodes décrites en partie II. Des algorithmes ont été développés pour palier à la collision des puces (le brouillage du signal lorsque plusieurs puces s'activent pour un même émetteur). Ces algorithmes fonctionnent pour des puces à haute fréquence car elles permettent un échange de données plus important. Le problème de ces puces est la portée de détection. Ainsi, il sera nécessaire de trouver un équilibre dans la fréquence des puces pour que le lecteur puisse activer les puces situées sur les côtés des allées tout en étant capable de les distinguer séparément.

Cette solution est donc a priori réalisable même si cela n'a jamais été fait. Elle présente comme avantage de limiter le nombre d'émetteur (un par opérateur) et de permettre une grande précision en multipliant les puces très communes aujourd'hui.

d) Infra-rouge

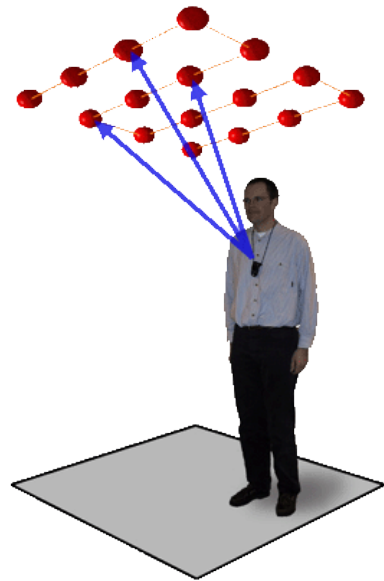
Contrairement aux technologies décrites précédemment utilisant les ondes radio, la localisation par infra-rouge nécessite une « ligne de vue ». Si un obstacle se trouve entre l'émetteur et le récepteur, la localisation ne peut pas se faire.

Son principe est de répartir des récepteurs à infra-rouge dans l'entrepôt puis de munir l'opérateur d'un émetteur à ultrason. Ce dernier émet de courtes impulsions que captent les récepteurs. Sachant la date d'émission et de réception, nous sommes en mesure de calculer la distance de l'opérateur à chaque récepteur et ainsi sa position par trilatération (cf. partie II). Ou bien, suivant l'intensité de l'impulsion reçue, on peut en déduire cette même distance.

Le coût de ces émetteurs et récepteurs est relativement faible même si pour avoir une précision suffisante, il est nécessaire de multiplier les récepteurs. La précision de ce système est très bonne et peut atteindre la dizaine de centimètres.

e) Le « Bat Ultrasonic Location System »

Cette technologie a été à l'étude pendant l'année 1999 mais n'a pas amené à des développements plus poussés qu'un simple prototype. Le principe est exactement le même que pour l'infra-rouge avec le même inconvénient de nécessité d'une ligne de vue.

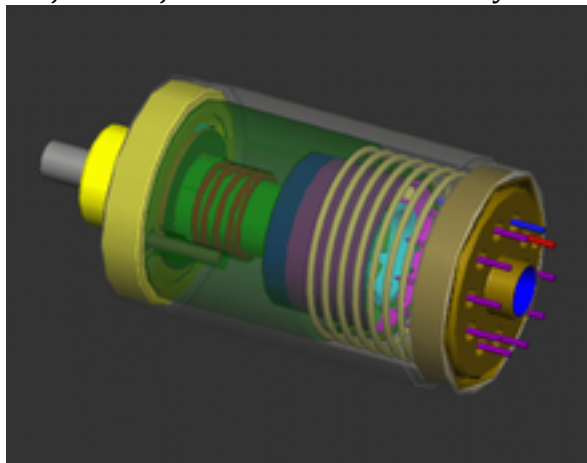


f) Répéteur GPS

Pour palier à la diminution du signal GPS dans un bâtiment, il existe des répéteurs GPS. Ceux-ci ne font que capter le signal reçu de l'extérieur et le transmettre à l'intérieur. Le grand avantage est que cela permet l'utilisation du standard qui est devenu le GPS sans autre modification avec une précision d'une vingtaine de centimètres. Cependant, le prix de ces répéteurs est très élevé et nécessitent aussi une ligne de vue.

g) Accéléromètre

Connaissant la position et la vitesse initiale, un accéléromètre peut, par intégrations successives, calculer sa position. La précision d'une intégration est toujours sujette à caution et un tel système devrait en faire deux par intervalle de



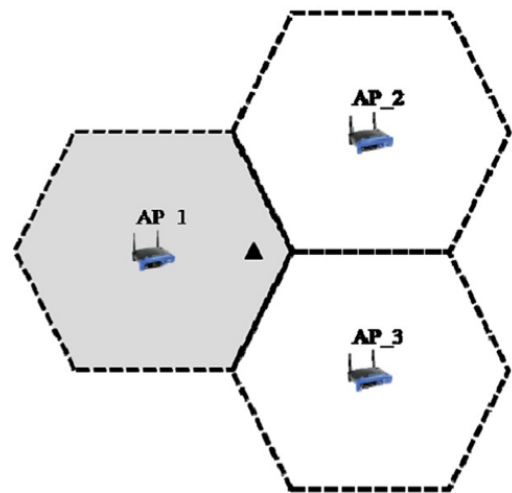
temps, intervalle que l'on doit minimiser pour accroître la précision. La précision ne peut donc pas être garantie et une erreur se propagera et s'amplifiera au fil des itérations. C'est pourquoi une telle technique le plus souvent couplée à une autre tel que le positionnement passif par RFID qui permet une réinitialisation de la position initiale et évite ainsi une propagation trop importante de l'erreur due aux intégrations.

ii – Méthodes de positionnement actif

A) Cell identity (Cell-ID)

Cell identity est une méthode de positionnement basique : la position de la cible est assimilée à la position du point d'accès. Il n'y a donc pas besoin d'opérations complexes telles que la synchronisation temporelle ou la multiplication des points d'accès.

Cependant cette simplicité a un revers. En effet, la précision n'est que de l'ordre de la portée du point d'accès (environ 100m en wifi).

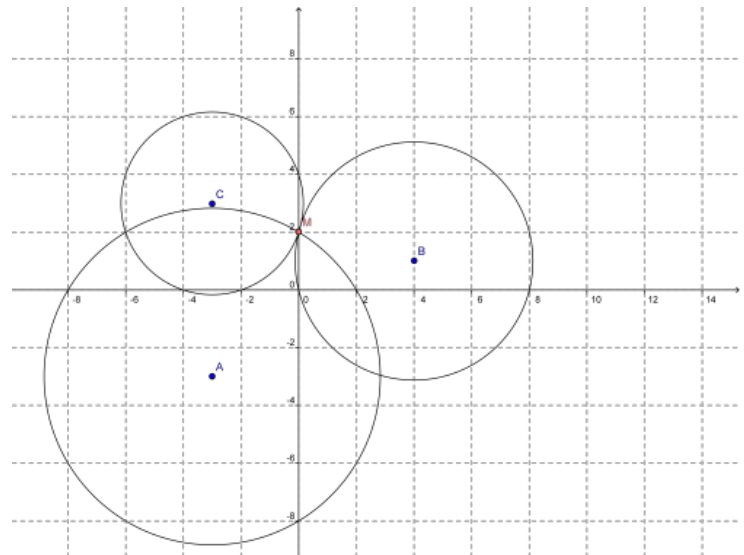


B) Time of Arrival (TOA)

Cette méthode calcule la distance en utilisant le temps de trajet du signal radio d'un émetteur à un récepteur. Elle nécessite donc la synchronisation temporelle des émetteurs et des récepteurs. Cette dernière est difficile à atteindre pour des courtes distances étant donné que la précision de la synchronisation doit augmenter avec le rapprochement des devices.

L'algorithme permettant de trouver ensuite la position est basé sur la trilatération. La trilatération est une méthode mathématique permettant de déterminer la position relative d'un point en utilisant la géométrie des triangles. Grâce à un minimum de trois points connus ainsi que de leur distance à la position recherchée, cette dernière peut être calculée (image).

TOA est par exemple utilisé par le GPS.



C) Time Difference of Arrival (TDOA)

Cette méthode intervient pour pallier à la difficulté rencontrée pour la méthode Time of Arrival. Les émetteurs émettent un signal au même moment et le récepteur mesure la différence du moment d'arrivée de ces signaux. Dans ce cas, seuls les émetteurs ont besoin d'être synchronisé temporellement. Cependant il est nécessaire d'avoir 4 émetteurs.

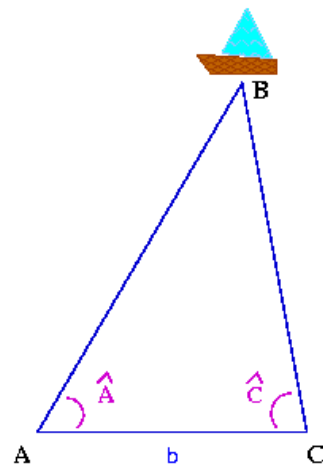
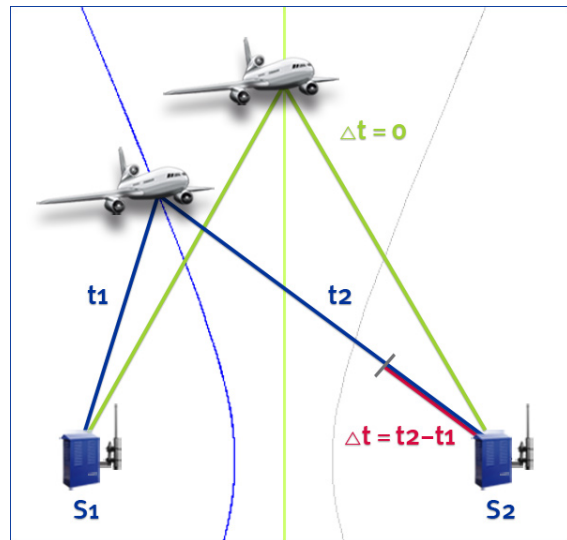
L'algorithme permettant ensuite de trouver la position du récepteur est basé sur la multilatération. La multilatération est non plus basée sur des intersections de cercles mais sur des intersections d'hyperboloïdes (c'est pourquoi cette méthode est aussi appelée Hyperbolic navigation). TDOA est par exemple utilisé pour le positionnement des avions.

D) Angle of Arrival (AOA)

Cette méthode consiste à mesurer l'angle entre le récepteur et l'émetteur. Ce dernier doit donc posséder des antennes intelligentes lui permettant de connaître la direction du récepteur. Seuls deux émetteurs sont nécessaires pour connaître la position du récepteur qui est calculée en utilisant un algorithme basé sur la triangulation.

La triangulation est une technique permettant de déterminer la position d'un point en mesurant les angles entre ce point et d'autres points de référence dont la position est connue, et ceci plutôt que de mesurer directement la distance entre les points. Ce point peut être considéré comme étant le troisième sommet d'un triangle dont on connaît deux angles et la longueur d'un côté.

AOA est utilisé par exemple pour déterminer la position de l'épicentre d'un séisme.



E) Received Signal Strength (RSS)

RSS mesure la distance d'un récepteur à un émetteur en utilisant une relation liant la distance à l'intensité du signal reçu. L'un des systèmes basé sur RSS est la méthode de fingerprint. Il s'agit d'une technique de positionnement basée sur une modélisation statistique qui prend en compte le bruit du signal ainsi que l'environnement dans la détermination de la position. La méthode comporte deux phases: une phase d'apprentissage et une phase de positionnement.

Dans la phase d'apprentissage (qui est faite en amont de la mise en service du système), l'intensité du signal reçu en un point connu est filtrée, interpolée, et ensuite stockée dans une base de données en tant que points d'échantillonnage.

Dans la phase de positionnement, la position est déterminée par comparaison de l'intensité du signal reçu avec les échantillons stockés dans la base de données. La précision de ce système est une fonction du nombre d'échantillons relevés,

d'une méthode d'interpolation (si le signal reçu ne correspond pas exactement à un échantillon connu) et de la structure de la base de données.

Le but de cette étude est de démontrer la faisabilité d'une localisation utilisant la RFID en tant que technologie active.

Pour ce faire, une simulation a été développée en posant quelques hypothèses simples pour la modélisation.

II - Modélisation du système

Toute simulation repose sur un modèle se voulant le plus représentant de la situation réelle. Le modèle développé ici pose quelques hypothèses simplificatrices qu'il conviendra de vérifier dans une implémentation réelle.

- La première de ces hypothèses est la morphologie de la zone de modélisation : nous considéreront qu'il n'y a pas de murs bloquant l'émission des ondes.
- La seconde concernent le matériel utilisé pour les tags RFID : nous considéreront que le lecteur RFID porté par l'utilisateur émet avec la même puissance de manière omnidirectionnelle. Cette puissance lui permet d'émettre jusqu'à 6m.
- La troisième concerne les tags RFID : nous considéreront que lorsqu'ils captent un signal provenant d'un lecteur, le lecteur arrive à connaître la force du signal renvoyé par le tag et que cette force est fonction de la distance et d'un bruit blanc. De plus, nous considéreront que l'emplacement des tags est parfaitement connu.
- La dernière hypothèse est le fait que nous considérerons le problème plan, c'est-à-dire que nous considérerons que les tags sont à même hauteur que le lecteur RFID. En pratique, cela n'est pas contraignant puisque, connaissant la hauteur à laquelle se trouve le lecteur, nous arrivons à nous ramener à un problème plan grâce au théorème de Pythagore si les tags sont à hauteur fixe.

L'amplitude de ce bruit blanc est une des variables du modèle mais nous considéreront la fonction de la distance connue (Figure 2). En pratique, il faut déterminer cette fonction par empreinte (cf. État de l'art).

L'utilisateur a donc accès aux distances le séparant des tags à moins de 6m +- un bruit blanc.

III - Algorithme de positionnement

La connaissance des distances aux tags n'est pas équivalente à la connaissance de la position de l'utilisateur. Il a donc fallu développer un algorithme capable d'estimer cette position. Cet algorithme n'est pas basé sur la triangulation, trilatération ou autres. Il est basé sur l'algorithme de la descente de gradient que

nous avons étudié en cours d'Analyse Numérique et Optimisation, approche qui est innovante pour la localisation.

i - Fonctionnement de l'algorithme

Le fonctionnement de l'algorithme est illustré par la figure 1.

En premier lieu, un point de départ est généré. Les distances entre l'utilisateur (lecteur RFID) et les tags sont ensuite calculées. L'estimation de la position est déplacée vers la direction donnée par la droite formée par l'utilisateur et le tag dont la différence entre la distance acquise et la distance à la position estimée est la moins grande (algorithme du gradient).

L'algorithme répète ces étapes jusqu'au critère de terminaison dans le cas d'une position statique ou bien répète sans arrêt.

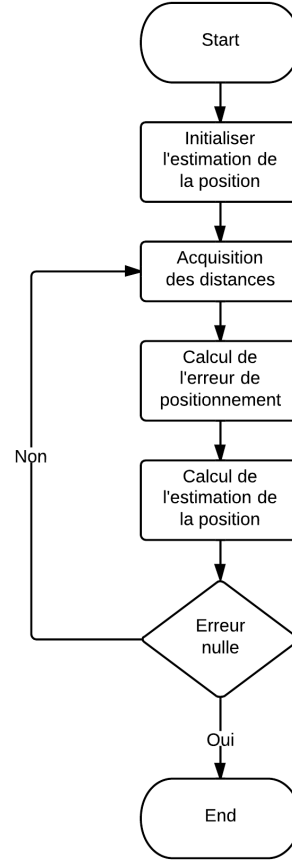
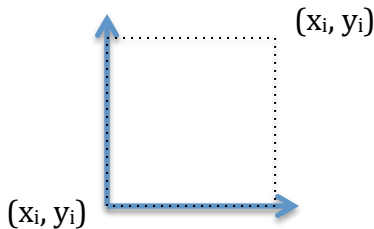


Figure 1

Cet algorithme basé sur la méthode de la descente du gradient estime par itérations successives la position de l'utilisateur. La position initiale utilisée pour la première étape de l'algorithme peut être choisie de manière aléatoire, déterminée par la position d'une porte d'entrée, ou bien calculée au centre de la zone de modélisation (ce qui est fait dans notre cas). Les coordonnées du centre de la zone peuvent être calculées en utilisant l'équation 1.



$$(x_c, y_c) = \begin{cases} x_c = \frac{x_e - x_i}{2} \\ y_c = \frac{y_e - y_i}{2} \end{cases}$$

Équation 1

où (x_i, y_i) et (x_e, y_e) correspondent aux points extrêmes de la zone de modélisation.

Pseudo code

Méthode Initialisation_de_la_position

CONSTANTES : LARGEUR, HAUTEUR**POUR CHAQUE** utilisateur i $i.\text{estimatedX} \leftarrow \text{LARGEUR}/2$ $i.\text{estimatedY} \leftarrow \text{HAUTEUR}/2$ **FIN** Initialisation_de_la_position**iii - Calcul des distances**

La distance entre le lecteur RFID (et donc l'utilisateur) et un tag est calculée en employant une relation entre la force du signal reçu (RSSI) et la distance puisque, concrètement, nous avons accès au RSSI et pas directement à la distance. Pour obtenir cette relation, nous procédons par « fingerprint », c'est-à-dire que nous créons une grande base de données expérimentale reliant le RSSI à la distance pour pouvoir créer une « Wireless Signal Attenuation Curve », une courbe d'atténuation du signal (figure 2). Celle-ci dépend donc du lieu d'utilisation de la technologie.

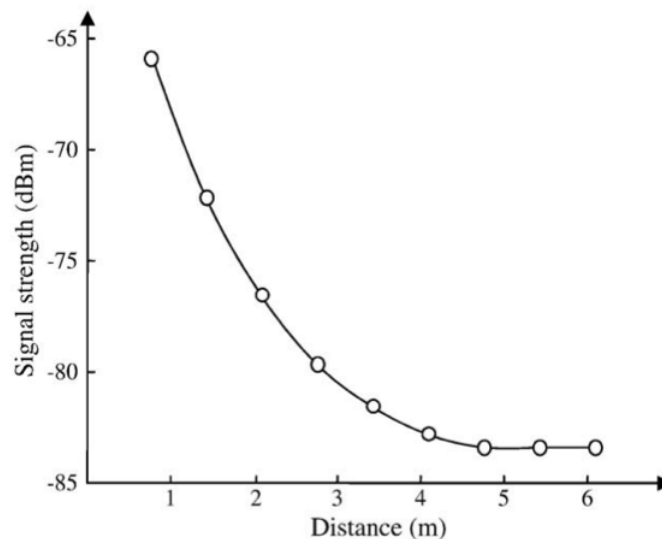


Figure 2

À partir de cette courbe, nous pouvons donc, en acquérant les RSSI pour chaque tag, calculer la distance à chacun de ces tags.

Pseudo codeMéthode Calcul_des_distances (utilisateur i)**CONSTANTE** : $WASC^{-1}$ (voir figure 2)**VARIABLES** : rssiDesTags (tableau), distances (tableau)**LIRE** $i.\text{rssiDesTags}$ **POUR CHAQUE** rssi $i.\text{rssiDesTags}[j]$ **SI** $i.\text{rssiDesTags}[j] > -85\text{db}$ // si l'on capte le tag**ALORS** $\text{distances}[j] \leftarrow WASC^{-1}(i.\text{rssiDesTags}[j])$ **SINON** $\text{distances}[j] \leftarrow -1$ // si l'on ne capte pas le tag**RETOURNER** distances**FIN** Calcul_des_distances

iv - Calcul de l'erreur de positionnement

L'erreur e_{ik} entre la distance entre le tag k et l'utilisateur réel i et la distance entre le tag k et la position estimée du même utilisateur peut être calculée en utilisant l'équation 2.

$$e_{ik} = S_{ik} - \overline{S_{ik}} \quad \text{Équation 2}$$

où S_{ik} est définie comme la distance entre le tag k et l'utilisateur réel i obtenue à l'aide du RSSI et de la WSAC ; $\overline{S_{ik}}$ est la distance entre le tag k et la position estimée de l'utilisateur i . Cette dernière est calculée à l'aide de l'équation 3.

$$\overline{S_{ik}} = \sqrt{(\overline{x_i} - x_k)^2 + (\overline{y_i} - y_k)^2} \quad \text{Équation 3}$$

où $(\overline{x_i}, \overline{y_i})$ est la position estimée de l'utilisateur et (x_k, y_k) est la position du tag k (connue).

Pseudo code

Méthode Calcul_de_l_erreur (utilisateur i , distances_réelles (tableau))

VARIABLES : distances_estimation (tableau), erreurs (tableau)

distances_estimation \leftarrow Calcul_des_distances_estimation(i)

POUR CHAQUE distance distances_réelles[j]

SI distances_réelles[j] = -1 //si l'on ne capte pas le tag

ALORS erreurs[j] \leftarrow 0

SINON erreurs[j] \leftarrow distances_réelles - distances_estimation

RETOURNER erreurs

FIN Calcul_de_l_erreur

Méthode Calcul_des_distances_estimation (utilisateur i)

CONSTANTE : position_des_tags (tableau)

VARIABLE : distances_estimation (tableau)

POUR CHAQUE position position_des_tags[j]

distances_estimation[j] \leftarrow sqrt((i.estimatedX - position_des_tags[j].x)² + (i.estimatedY - position_des_tags[j].y)²)

RETOURNER distances_estimation

FIN Calcul_des_distances_estimation

v - Ajustement de l'estimation de la position

Cet algorithme ajuste la position estimée de l'utilisateur en utilisant la méthode de la descente du gradient qui bouge la position vers la direction de moindre erreur qui se trouve donc sur la droite reliant l'estimation de la position et le tag k pour lequel e_{ik} est maximale. La position estimée de l'utilisateur converge donc précisément vers la position réelle de l'utilisateur.

La position estimée à $t+1$ est donnée est fonction de la position estimée à t par l'équation 4.

$$\begin{cases} \bar{x}_i(t+1) = \bar{x}_i(t) + \Delta x_i(t) \\ \bar{y}_i(t+1) = \bar{y}_i(t) + \Delta y_i(t) \end{cases} \quad \text{Équation 4}$$

Les valeurs d'ajustement dans l'équation 4 ($\Delta x_i(t)$, $\Delta y_i(t)$) sont les produits des taux d'ajustement (α_x, α_y) définie par expérimentation, de la position estimée à l'instant t et du gradient δ_{ik} comme le montre l'équation 5.

$$\begin{cases} \Delta x_i(t) = \alpha_x \cdot \frac{\bar{x}_i(t) - x_k}{\bar{s}_{ik}} \cdot \delta_{ik} \\ \Delta y_i(t) = \alpha_y \cdot \frac{\bar{y}_i(t) - y_k}{\bar{s}_{ik}} \cdot \delta_{ik} \end{cases} \quad \text{Équation 5}$$

Le gradient δ_{ik} correspondant au gradient du tag k pour lequel e_{ik} est maximale peut être calculé en utilisant l'équation 6.

$$\delta_{ik} = \bar{s}_{ik} \cdot e_{ik} \quad \text{Équation 6}$$

L'estimation de la position est graduellement ajustée en utilisant ces équations. L'erreur moyenne de la position de l'utilisateur i pour les n tags captés par le lecteur RFID peut être calculée par la méthode des moindres carrés suivant l'équation 7.

$$\varepsilon_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{e_{ik}}{\bar{s}_{ik}} \right)^2}{n}} \quad \text{Équation 7}$$

Pseudo code

Méthode Trouver_direction_ajustement (erreurs (tableau))

VARIABLES : max, direction

max \leftarrow 0

direction \leftarrow 0

POUR CHAQUE erreur erreurs[j]

SI (erreurs[j])² > max

ALORS max \leftarrow (erreurs[j])²

 direction \leftarrow j

RETOURNER direction

FIN Trouver_direction_ajustement

```

Méthode Ajustement_de_l_estimation (utilisateur i, erreurs (tableau))
CONSTANTES : tauxAjustementX, tauxAjustementY, position_des_tags (tableau)
VARIABLES : direction, valeurAjustementX, valeurAjustementY
direction ← Trouver_direction_ajustement(erreurs)
valeurAjustementX ← tauxAjustementX * erreurs[direction]
                    * (i.estimatedX – position_des_tags[direction].x)
valeurAjustementY ← tauxAjustementY * erreurs[direction]
                    * (i.estimatedY – position_des_tags[direction].y)
i.estimatedX ← i.estimatedX + valeurAjustementX
i.estimatedY ← i.estimatedY + valeurAjustementY
FIN Ajustement_de_l_estimation

```

vi - Terminaison de l'algorithme

La condition terminale de l'algorithme peut être un nombre d'itération ou (et) une erreur moyenne ε_i inférieure à un certain seuil. Définir un nombre d'itération permet d'assurer une complétion de l'algorithme en un temps fini tandis que définir un seuil à atteindre pour l'erreur moyenne permet d'assurer une précision dans la localisation de l'utilisateur.

Dans le cas d'un positionnement dynamique (notre cas), l'algorithme doit tourner en boucle même s'il atteint une erreur nulle puisque l'utilisateur pourra bouger et ainsi engendrer une erreur.

IV - Simulation

Pour tester cet algorithme sans avoir accès à des tags et lecteurs RFID, j'ai créé une simulation informatique en JAVA reprenant tous les paramètres dont nous avons précédemment parlé.

Grâce à celle-ci, nous pouvons facilement tester l'algorithme dans différentes situations en faisant varier la taille de la zone simulée, l'espacement des différents tags, l'amplitude du bruit de mesure, la vitesse de déplacement des utilisateurs, le nombre d'utilisateur, etc..

Le déplacement de l'utilisateur est basé sur la méthode « wiggle » vue en cours d'Intelligence Ambiante : l'utilisateur a une direction qui varie entre -45° et $+45^{\circ}$ à chaque étape puis avance un peu. Cela crée une impression de mouvement correspondant à un déplacement réel.

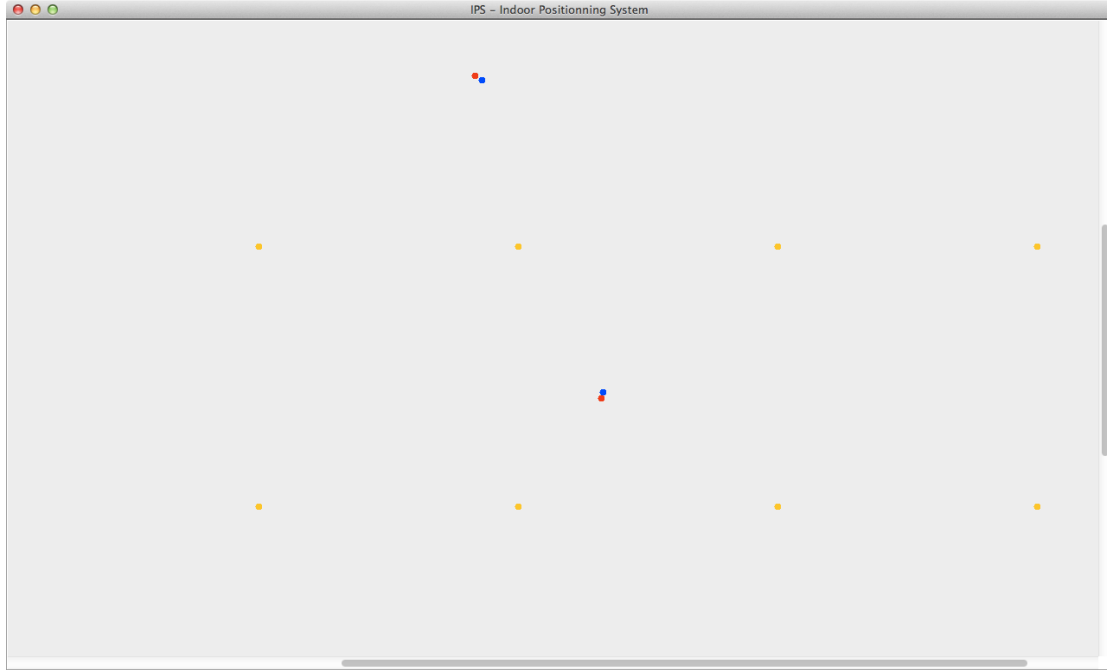


Figure 3

Ci contre un exemple avec un espacement des tags de 3m et une vitesse de déplacement de 5m/s.

Les points oranges représentent les tags, les points rouges représentent les utilisateurs tandis que les points bleus représentent l'estimation de leur position.

V - Résultat

Dans la simulation, comme nous connaissons la position réelle de l'utilisateur, l'erreur moyenne de positionnement de l'utilisateur i sur T itérations de l'algorithme peut être calculée en utilisant l'équation 8.

$$\varepsilon_{iT} = \frac{\sum_{t=0}^{T-1} \sqrt{(\bar{x}_t - x_i)^2 + (\bar{y}_t - y_i)^2}}{T} \quad \text{Équation 8}$$

C'est cette erreur qui nous interesse pour nous rendre compte de la pertinence de l'algorithme.

J'ai donc fais plusieurs essais d'une vingtaine de secondes chacun (4000 itérations) en faisant varier les différents paramètres.

Espacement tags X (cm)	Espacement tags Y (cm)	Vitesse déplacement (m/s)	Amplitude bruit (cm)	Précision (cm)	
100	100	0,85	50	11,42635161	Réglé sur 100
100	100	0,85	50	12,24242415	
100	100	0,85	50	11,69855554	
100	100	0,85	50	11,60699452	
100	100	0,85	50	11,85990805	
100	100	0,85	50	7,166990043	Réglé sur 50
100	100	0,85	50	9,081011141	
100	100	0,85	50	8,001200666	
100	100	0,85	100	8,915237626	Réglé sur 100
100	100	0,85	100	9,451552058	
100	100	0,85	100	8,748525215	
100	100	0,85	100	10,57009899	
100	100	0,85	100	9,953741314	
200	200	0,85	100	8,658306384	
200	200	0,85	100	9,717744968	
200	200	0,85	100	9,103068628	
200	200	0,85	100	7,712873121	
200	200	0,85	100	10,23955421	
300	300	0,85	100	10,92821899	
300	300	0,85	100	9,484502011	
300	300	0,85	100	12,56534491	
300	300	0,85	100	11,46493634	
300	300	0,85	100	8,752638463	
400	400	0,85	100	13,93741614	
400	400	0,85	100	11,1075072	
400	400	0,85	100	9,753308556	
400	400	0,85	100	9,430379511	
400	400	0,85	100	14,63096993	
600	600	0,85	100	25,06727698	
600	600	0,85	100	27,43514721	
600	600	0,85	100	32,93461266	
100	100	0,85	200	11,19938452	
100	100	0,85	200	10,55800557	
100	100	0,85	200	9,761933709	
100	100	0,85	200	10,61352463	
100	100	0,85	200	10,25038697	
100	100	0,85	300	15,9529516	
100	100	0,85	300	12,01969508	
100	100	0,85	300	13,32586712	
100	100	0,85	300	12,14665585	
100	100	0,85	300	14,61554851	

0,85 m/s correspond à environ 3km/h ce qui est la vitesse d'une marche moyenne.

Grâce à ces résultats, nous pouvons tracer deux courbes.

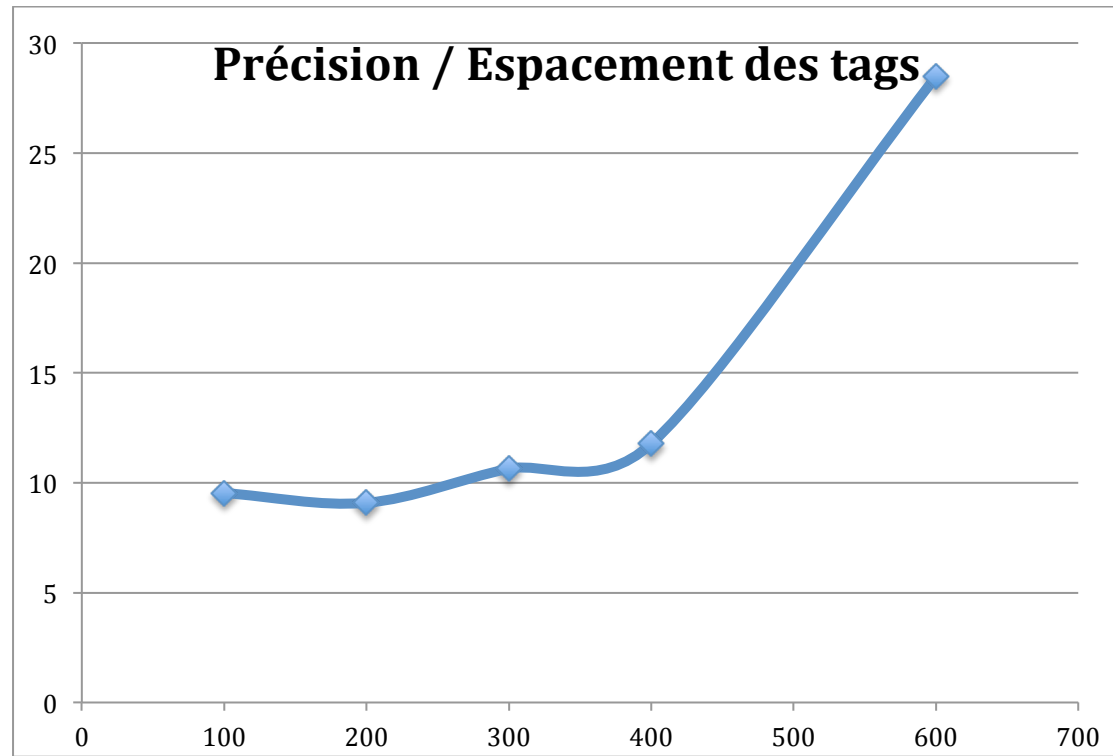


Figure 4

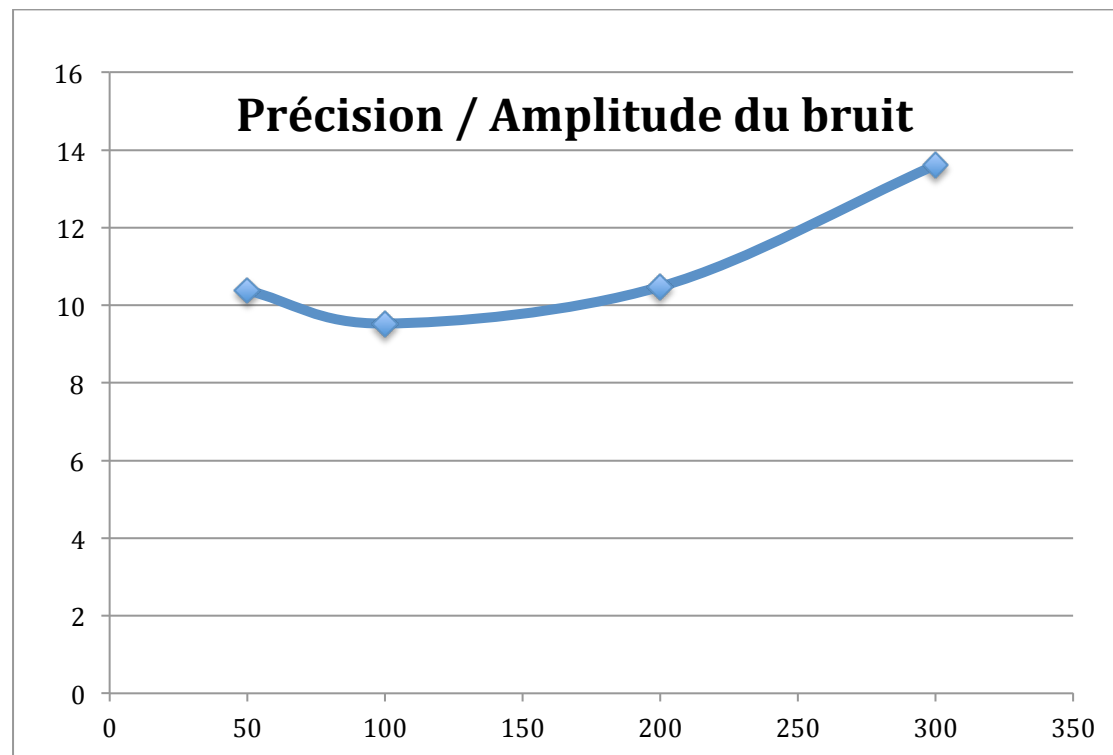


Figure 5

La première courbe est à amplitude de bruit constante (1m). Nous remarquons que jusqu'à un espacement des tags de 6m, la précision est très bonne (environ 10 cm) et ne dépend finalement que peu de l'espacement des tags. Un espacement de 6m des tags correspond à la limite de la portée du lecteur RFID et en conséquence, le lecteur ne parvient pas à capter suffisamment de tags pour que l'algorithme fonctionne de manière optimale même si l'on reste tout de même à une précision supérieure à 30 cm.

La deuxième courbe est à espacement des tags constant (1m). Nous remarquons que la précision ne varie pas beaucoup malgré une amplitude de bruit allant jusqu'à 3m (la moitié de la portée du lecteur) et reste tout à fait satisfaisante (environ 12cm).

Le fait que pour une amplitude de 50cm, la précision est moins bonne que pour une amplitude de 100cm vient du réglage des taux d'ajustement (Equation 5). S'ils sont trop grands, l'estimation de la position oscille trop fortement autour de la position réelle. Si l'on regarde les résultats en ayant réglé ces taux, la précision est tout de suite meilleure (environ 8 cm). Mais même sans modifier ces taux, la précision est tout à fait acceptable.

VI - Conclusion

Grâce à cette simulation, nous avons montré que l'algorithme apporte de très bons résultats tout en étant robuste en supportant des bruits de mesure allant jusqu'à 50%.

Avec un espacement des tags de 3m, il faudrait environ 1000 tags pour couvrir une surface de 10000m² (taille d'un petit entrepôt). Cet espacement correspond aussi à l'espacement nécessaire entre les lecteurs si l'on voudrait faire du positionnement par RFID passif. Un tag vaut environ 1 euro tandis qu'un lecteur vaut environ 100 euros.

On remarque donc tout de suite l'avantage économique du positionnement par RFID passif puisqu'il faudrait avoir plus de 1000 personnes à positionnement en même pour le positionnement passif soit économique.

De plus, l'agrandissement de la surface dans laquelle on veut effectuer le positionnement ne pose pas de problème, il suffit de rajouter quelques tags.

VII – Bibliographie

Abowd, Robert J. Orr and Gregory D. *The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking*. 1999.
<http://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/3321/00-02.pdf?sequence=1> (accès le Mars 24, 2012).

Alberto Sanchez, Angel de Castro, Santiago Elvira, Guillermo Glez-de-Rivera, Javier Garrido. «Autonomous indoor ultrasonic positioning system based on a low-cost conditioning circuit.» *Elsevier*, 12 2011.

Cambridge, AT&T Laboratories. *The Bat Ultrasonic Location System*. 1999.
<http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attachive/bat/> (accès le Mars 24, 2012).

CISCO. *La géolocalisation par WiFi*. 21 Décembre 2006.
http://www.cisco.com/web/FR/documents/pdfs/newsletter/ciscomag/2006/12/ciscomag_3_dossier_geolocalisation_par_wifi.pdf (accès le Mars 24, 2012).

Gabriel Deak, Kevin Curran, Joan Condell. «A survey of active and passive indoor localisation systems.» *Elsevier*, 06 2012.

Hiam M. Khoury, Vineet R. Kamat. «Evaluation of position tracking technologies for user localization in indoor construction environments.» *Elsevier*, 10 2009.

Jeffrey Hightower, Gaetano Borriello, Roy Want. *SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength*. 18 02 2000.

Ko, Chien-Ho. «RFID 3D location sensing algorithms.» *Elsevier*, 02 2010.

S.L. Ting, S.K. Kwok, Albert H.C. Tsang and George T.S. Ho. *The Study on Using Passive RFID Tags for Indoor Positioning*. Hong Kong.

Sunkyu Woo, Seongsu Jeong, Esmond Mok, Linyuan Xia , Changsu Choi, Muwook Pyeon, Joon Heo. «Application of WiFi-based indoor positioning system for labor tracking at construction sites: A case study in Guangzhou MTR.» *Elsevier*, 05 2010.

Yim, Jaegeol. «Introducing a decision tree-based indoor positioning technique.» *Elsevier*.