



# LOCALISATION INDOOR PROJET TUTEUR

Auteurs :

Imane AOUBIZA

Lucas BECKERS

Sarah GROS

Victor MAINTENANT

Julia VILAS

Chef de projet : Victor MAINTENANT

# Chapitre 1

## Introduction

L'objectif de ce projet tutoré est de développer un système informatique permettant de localiser une personne à l'intérieur d'un bâtiment, et d'afficher en temps réel la position du personnel sur le plan du bâtiment. Un tel système pourrait être utilisé, par exemple, pour localiser le personnel médical au sein d'un hôpital, ou pour calculer le taux de remplissage des locaux pour respecter les limitations dues à la COVID-19. Pour le projet, on utilisera les locaux du CHL pour simuler un hôpital. Ce sujet va nous permettre de s'intéresser à l'optimisation des milieux hospitaliers, d'aider au respect des normes comme celles pour la Covid-19. Il va nous permettre d'aborder les notions de travail en équipe, de communication avec un client et la création d'un cahier des charges. Mais aussi il va nous permettre de mettre en application les notions vues en cours de programmation et de développement en Javascript. Enfin il va nous permettre d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la localisation indoor. Pour mettre en place ce projet on nous propose d'utiliser des balises Bluetooth (beacons) permettant de détecter la présence d'un individu dans une pièce, ainsi que d'utiliser aussi les bibliothèques Javascript pour l'affichage en temps réel des localisations. C'est dans ce contexte que nous avons décidé d'étudier les différentes technologies et systèmes à mettre en place, ces derniers étant le Bluetooth, la localisation indoor et les différentes utilisations de celles-ci dans le domaine hospitalier.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>La localisation indoor</b>	<b>4</b>
2.1	Définition . . . . .	4
2.2	Usage général . . . . .	5
2.3	Techniques de localisation indoor pour construire le plan . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Technologies au service de la localisation indoor</b>	<b>9</b>
3.1	Bluetooth . . . . .	9
3.1.1	Définition . . . . .	9
3.1.2	Bluetooth beacons . . . . .	9
3.2	Bluetooth Low Energy (BLE) . . . . .	10
3.2.1	Définition . . . . .	10
3.2.2	BLE Protocol Stack . . . . .	11
3.2.2.1	Le Controller . . . . .	11
3.2.2.2	Le Host . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Utilisation de la localisation indoor dans le domaine de la santé</b>	<b>14</b>
4.1	Optimisation des flux . . . . .	14
4.2	Problématiques éthiques . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>16</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>16</b>

## Chapitre 2

# La localisation indoor

### 2.1 Définition

Le terme générique de géolocalisation indoor couvre 3 principaux niveaux de services :

- La géolocalisation indoor aide les utilisateurs à trouver leur chemin, leur permet d’optimiser leur visite, de localiser leurs amis et collègues ; ainsi que de fournir des analyses comportementales aux commerçants sur le parcours des visiteurs.
- La micro-localisation permet aux voyageurs, visiteurs ou consommateurs d’interagir avec un élément spécifique : un produit sur une étagère en magasin, une œuvre d’art exposée dans un musée... La présence du consommateur est identifiée seulement quand il est à proximité d’une balise.
- Le geofencing envoie des informations spécifiques lorsqu’un utilisateur entre ou sort d’une zone prédéfinie.

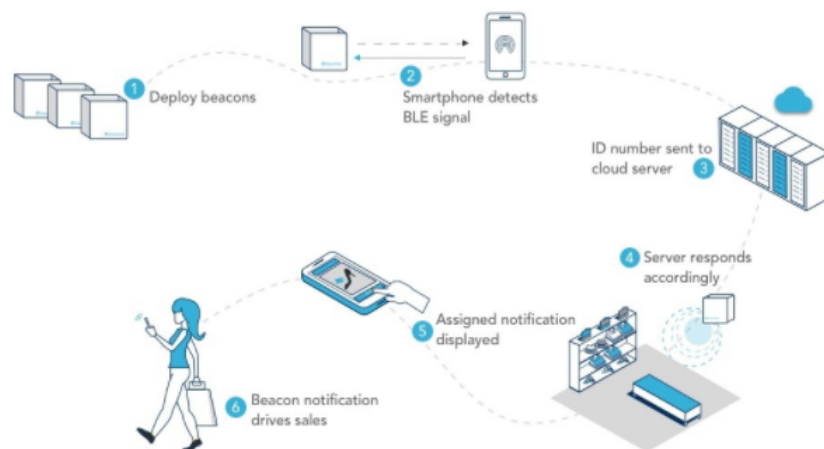


FIGURE 2.1 – Principe de la localisation indoor avec le BLE

La position d'un utilisateur est déterminée en assignant une pondération de probabilité à chaque point de la carte. Après avoir calculé la puissance de signal attendue et celle du signal mesuré, la position de l'appareil de l'utilisateur est déterminée avec une grande précision.

## 2.2 Usage général

Le système de géolocalisation Indoor a souvent été envisagé dans le cadre de la prévention de la Protection du Travailleur Isolé (PTI), la législation française imposant de mettre à disposition un dispositif d'alerte pour le personnel évoluant en milieu isolé. La localisation Indoor est déjà utilisée dans plusieurs cas et dans différents domaines.

Elle est utilisée dans le marketing, donnant la position des produits dans un supermarché afin de simplifier le quotidien des familles et aussi le travail du personnel. Elle permet aussi de détecter les livres mal rangés dans une bibliothèque. Cependant, les objets nécessitent d'être tagués par une puce RFID. Mais la principale application marketing serait le géomarketing : l'optimisation des revenus au mètre carré, en fonction des données de visite des clients (flux, temps de visite, zones de passages, zones de transformation, etc). Il est possible de personnaliser des offres marketing, non seulement selon les données connues sur le client par la marque (carte de fidélité) mais aussi selon le contexte géographique d'un client en magasin.

Dans son utilisation, on peut citer l'aide à la navigation, dans le cas d'une navigation allant de l'outdoor à l'indoor, celle-ci doit se faire « sans coutures », c'est-à-dire que le mobile doit immédiatement détecter que l'utilisateur est rentré dans un bâtiment, et passer de manière transparente en mode navigation intérieure. Il pourrait s'agir d'un client utilisant son application plan pour aller de chez lui à un point d'intérêt précis situé dans un centre commercial.

On la retrouve dans les transports : à l'intérieur d'un lieu de type aéroport, gare ou station de métro mais aussi dans des centres de congrès et d'exposition qui s'équipent de ces technologies pour aider les utilisateurs en leur fournissant des informations utiles. Dans les musées, elle est utilisée pour fournir des renseignements sur l'œuvre d'art que la personne observe, et elle peut par la suite, lui indiquer d'autres œuvres en rapport ou bien d'autres œuvres du même artiste ou du même mouvement qui se trouve dans le musée.

Dans le domaine industriel, ce système de positionnement intérieur est utilisé pour la sécurité des travailleurs isolés, le contrôle d'accès des véhicules ou encore la localisation d'engins de logistique dans un entrepôt.

La localisation indoor peut être utilisée comme un rappel en cas d'oubli. Lorsque des employés quittent leur bureau précipitamment, ils peuvent oublier des choses importantes. Des tags RFID apposés sur des objets liés à une application leur rappellent qu'ils ont oublié ceci lorsqu'ils quittent leur bureau. De plus, l'application "Rappel" sur mac OS utilise cette technologie pour notifier son utilisateur lorsqu'il est à proximité du lieu pour lequel il s'était mis un rappel. Par exemple, lorsqu'un patient se retrouve dans le cabinet de son médecin,

l'application lui rappelle qu'il doit demander le renouvellement de son traitement en plus de ce pourquoi il était venu.

Sports collectifs, santé et industrie sont tous à la recherche de systèmes de positionnement leur permettant d'optimiser leur activité et de maximiser leur performance.

## 2.3 Techniques de localisation indoor pour construire le plan

Il est impossible de détecter des murs en mesurant l'intensité du signal reçu ; en revanche, il est possible de détecter par cette méthode les portes et les personnes.

Pour construire un plan de l'endroit avec ses murs, il faut donc utiliser les RSSI issus des portes et des personnes :

- **Portes** : L'état de la porte de la porte (ouverte ou fermée) influence le RSSI. Comme les portes sont placées dans des murs, la position estimée des portes fournit des informations sur la position des murs. Cette méthode pose deux problèmes : certains murs n'ont pas de portes et celles-ci sont détectées seulement lorsqu'elles sont entre deux beacons.
- **Personnes** : Comme les personnes ne peuvent pas traverser les murs, en traquant leurs mouvements il est possible de déterminer les zones traversables et les zones non traversables : les murs. La position des personnes peut être mesurée par trois méthodes : l'odométrie, la trilatération et la localisation sans appareil (device-free localization).

Il existe plusieurs techniques afin de construire le plan utilisé pour se repérer dans l'espace en BLE.

On peut citer :

- **Proximité** : Le récepteur du signal est supposé être à la position du beacon avec le plus haut RSS. Un nombre limité de beacons rend imprécis la position de la personne. De plus, les DoBeacons sont placés dans les murs donc la position est forcément incorrecte et il peut être compliqué de distinguer les pièces voisines.
- **Multilatération** : En estimant l'étendue des valeurs des RSS des beacons, il est possible de trouver une position qui minimise les erreurs incertitudes entre les distances attendues et mesurées. Contrairement à la méthode de proximité, cette méthode est capable de déterminer des positions entre les beacons ; elle est donc plus précise. Un modèle de la propagation du signal est requis pour transformer les mesures du RSS en distances approximatives. Le problème est que ce modèle est sensible aux perturbations surtout à de grandes distances. Les erreurs seraient de quelques mètres.
- **Fingerprinting** : Cette méthode utilise une unique collection de mesures prises à des endroits spécifiques. Pour localiser une personne, on compare les mesures en cours sur la personne avec les fingerprints

enregistrées et on sélectionne la location avec le résultat le plus proche (ou on interpole la localisation à partir de plusieurs de fingerprints). La méthode de fingerprinting peut être effectuée sans connaître la localisation des beacons et peut utiliser les effets de réflexion et de “shadowing”. Le désavantage de cette méthode est qu’elle requiert de créer une carte fingerprint (une liste de fingerprints avec leurs positions) ce qui prend du temps. De plus, des changements dans l’environnement peuvent causer des changements dans les mesures locales.

Pour créer les fingerprints plus rapidement, plutôt que de se mettre à des endroits précis, on peut aussi collecter des mesures de la force du signal en bougeant. La méthode SLAM (Simultaneous Localisation And Mapping) consiste à bouger l’appareil dans l’environnement afin de collecter des informations concernant le signal pendant que des données de mouvement sont collectées.

- **Odométrie** : L’accéléromètre du téléphone est utilisé comme un podomètre et détecte le mouvement. Le magnétomètre du téléphone est utilisé comme une boussole et détermine la direction suivie par la personne. Comme les pas sont intégrés au cours du temps, l’odométrie est susceptible de dériver. Il est essentiel de corriger cette déviation sinon la trajectoire tracée devient trop inexacte pour construire le plan. Pour corriger cette déviation, une estimation absolue de la position est nécessaire. Différentes méthodes sont possibles : utiliser les fingerprints ou utiliser des ancrs de points.
- **Localisation sans appareil** : La présence d’une personne est détectée par des effets de “shadowing” sur les signaux entre beacons. Le RSS entre les beacons est comparé au signal de base quand personne n’est présent. Pour estimer la position des obstacles, connaître la localisation de tous les beacons est nécessaire. Cependant, aucune conversion n’est faite entre RSS et distance, donc aucun modèle de propagation de signal n’est requis. Les traces de mouvement sont créées en passant les changements de RSS par un filtre de traçage (tracking filter). Ce dernier utilise un modèle d’observation pour estimer la présence et la localisation de personnes basé sur les changements du RSS, et peut utiliser un modèle de prédiction pour estimer les mouvements des cibles entre les observations. Comme les personnes peuvent seulement être observées lorsqu’elles sont entre des beacons, cette méthode en nécessite un nombre important.

	<i>Fingerprinting BLE/WiFi RSS</i>	<i>Fingerprinting other signals</i>	<i>Odometry with other signals</i>	<i>Odometry with fingerprinting</i>	<i>Device-free Localization (CrowdInside)</i>
Simplicity	+	+	-	-	-
Unknown beacon locations	++	++	++	++	-
Number of beacons	+	++	+	++	-
Calibration	-	-	-	+	+
Change in environment	-	-	-	++	-
User interaction	+	+	+	+	++
Assumptions	++	+	++	-	+
Localization	++	++	++	-	+

FIGURE 2.2 – Comparaison des forces et des faiblesses des méthodes de tracking



## Chapitre 3

# Technologies au service de la localisation indoor

### 3.1 Bluetooth

#### 3.1.1 Définition

Le Bluetooth est à l'origine un outil pour réseau personnel (Personal Area Network, PAN). Conçu par une société suédoise, le Bluetooth permet l'échange bidirectionnel de données en utilisant des ondes radio UHF et opère dans la bande 2.4 GHz. Quarante canaux physiques sont alloués pour un multiplexage en temps et en fréquence, chacun étant espacé de 2 MHz (c'est-à-dire de 2.4 GHz à 2.8 GHz). Certains canaux sont utilisés pour l'Advertising Bluetooth alors que d'autres seront utilisés pour la partie connexion.

#### 3.1.2 Bluetooth beacons

Un beacon est un périphérique « Smart » qui diffuse un signal en utilisant le protocole de communication Bluetooth Low Energy. Il va contenir des informations permettant de le définir de manière unique :

- proximity UUID
- major
- minor
- Ce sont des valeurs modifiables qui vont nous permettre de différencier les beacons entre eux. Il est également possible de régler la puissance d'émission, ce qui va permettre de définir précisément la zone à couvrir par le Beacon.

Le beacon émet un signal à intervalles réguliers. Lorsqu'un appareil se situe dans la zone de diffusion, il réceptionne l'émission et la manifeste sous forme d'une action précise pour le destinataire. Les applications sont multiples. Elles peuvent s'intégrer dans un cadre professionnel ou ouvert au public.

Etant donné que la transmission se fait entre le boîtier et des appareils mobiles, il est essentiel d'intégrer la compatibilité avec les principaux systèmes d'exploitation, tels qu'Android et iOS.

En fonction de la nature du message, il est important de veiller à communiquer avec des flux et des formats universels. Ceux-ci sont généralement considérés comme des standards dans le domaine de la téléphonie mobile et de l'informatique. En complément de la connexion Bluetooth, les connexions Internet et Wi-Fi sont préconisées dans l'environnement, même si celles-ci n'entrent pas directement en ligne de compte dans l'utilisation du beacon.

Comme nœuds de référence (position fixe et connue) et nœuds mobiles, on peut citer :

- L'heure d'arrivée (TOA)
- L'angle d'arrivée (AOA)
- Le décalage horaire d'arrivée (TDOA)
- L'intensité du signal reçu (RSSI)
- Les systèmes hybrides (mix de plusieurs mesures liées aux différents principes physiques)

## 3.2 Bluetooth Low Energy (BLE)

### 3.2.1 Définition

Le BLE consomme deux fois moins que le Bluetooth classique. Enfin, son coût reste relativement faible et la longévité de sa batterie remarquable. Une différence non négligeable comparée au Bluetooth est le fait qu'il peut y avoir plus de 7 appareils par nœud, si l'on met en place un réseau maillé, où chaque appareil peut faire office de répéteur.

Le BLE dispose de différents types de connexions. Un objet connecté en BLE peut avoir jusqu'à 4 rôles différents :

- Le « Broadcaster » : il peut faire office de serveur. Ainsi, il a pour objectif de transmettre régulièrement des données à un appareil, mais il n'accepte aucune connexion entrante.
- « L'Observer » : Dans un deuxième temps, l'objet peut seulement écouter et interpréter les données envoyées par un « broadcaster ». Dans cette situation-là, l'objet ne peut pas envoyer de connexions vers le serveur.

- Le « Central » : souvent un smartphone ou une tablette. C'est un élément qui interagit de deux façons différentes : soit en mode advertising, soit en mode connecté. Il est alors le dirigeant et c'est de lui que part l'échange de données.
- Le « Peripheral » : il accepte les connexions du central et lui envoie des données de manière périodique. Ce système a pour objectif de packager les données de façon universelle via le protocole afin qu'elles soient comprises par les autres périphériques.

En BLE deux appareils peuvent établir une connexion sur un principe de maître / esclave. C'est le mode connecté. Dans ce cas, le protocole GATT est souvent utilisé (acronyme de « Generic ATtribute») pour transmettre les données. Ce protocole définit la façon qu'ont deux appareils BLE d'échanger des données. Il utilise des concepts de "services et caractéristiques" utilisés pour décrire l'information échangée. Un service peut contenir une collection de caractéristiques, elles-mêmes contenant une description, une valeur et des informations permettant de définir la valeur.

### 3.2.2 BLE Protocol Stack

Nous allons donc nous intéresser plus en détails au protocole Stack du BLE.

Ce dernier est constitué de deux composantes majeures, que sont le Controller et le Host.

Il est important de noter que la spécification Bluetooth permet la séparation de l'hôte et du contrôleur sur des puces différentes. L'interface (Host Controller Interface ) fait alors la communication entre les deux parties.

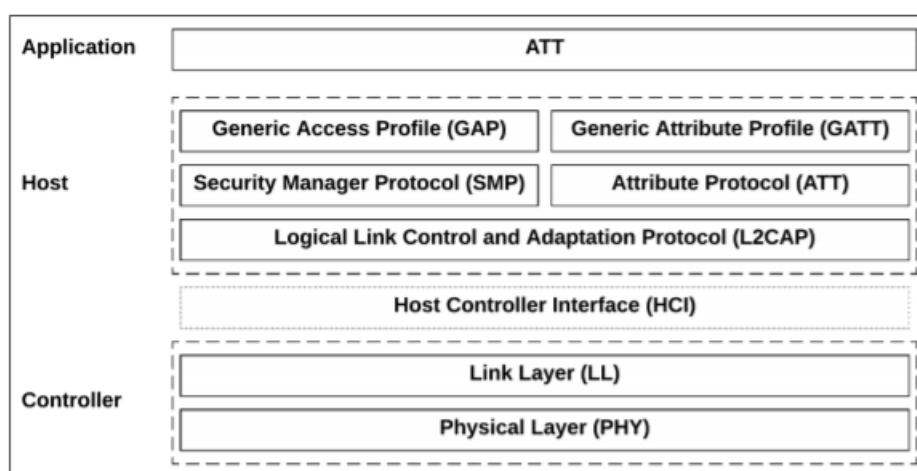


FIGURE 3.1 – Le BLE Protocol Stack

#### 3.2.2.1 Le Controller

Le Controller est composé de :

- **Physical layer** : il traite les communications radio sur la bande ISM ( Industrielle, Scientifique et Médicale) à 2.4 GHz de fréquence. Cette partie divise la bande en 40 chaînes dont 37 sont utilisées pour la connexion data et 3 pour “advertising”. Le BLE utilise une technique de sauts de fréquence très simple pour minimiser les effets des interférences potentiellement présentes sur cette bande comme le Wifi ou le Bluetooth classique. Le saut de fréquence est contrôlé par le “master” qui lui donne une valeur aléatoire comprise entre 5 et 16 ce qui garantit que chaque chaîne sera utilisée une seule fois à chaque cycle puisque 37 est un nombre premier.
- **Link layer** : il interagit directement avec la “physical layer” et gère le timing requis par les protocoles. Il est généralement implémenté comme un mélange de hardware et de software et est séparé des autres niveaux par une interface. Différentes fonctions de la “link layer” sont généralement implémentées dans le “hardware” comme la génération d’un nombre aléatoire ou le chiffrement AES (Advanced Encryption Standard). La partie “software” gère les rôles et l’état du lien de la radio.

Un appareil peut opérer selon l’un de ces rôles :

- advertiser : diffuse simplement des “advertising packets”
- scanner : écoute régulièrement les “advertising packets”

Pour le rôle du scanner, il existe deux types de procédures :

- Passive scanning : Le scanner écoute simplement les “advertising packets” diffusés sans que l’advertiser sache si les paquets ont été reçus ou non.
- Active scanning : Le scanner peut envoyer une demande de scan après avoir reçu un “advertising packet”.
- master : initie une connexion et la gère
- slave : accepte une demande de connexion et suit le timing du master

Un slave peut envoyer quatre types d’”advertising packets” définis par ces trois propriétés : connectable, scannable et dirigé.

- Connectable signifie qu’un scanner peut initier une connexion après avoir reçu un “advertising packet”.
- Scannable veut dire qu’un scanner peut envoyer une demande de scan après avoir reçu un paquet.

— Dirigé signifie que l'appareil n'accepte les demandes de scan que des appareils connus.

A part les contraintes d'implémentation, rien dans le protocole n'empêche l'appareil de prendre un de ces rôles ou d'en prendre plusieurs en même temps.

### 3.2.2.2 Le Host

L'hôte comprend les parties suivantes :

- **Logical Link Control and Adaptation Protocol** : il sert de multiplexeur pour les couches au-dessus en encapsulant leurs paquets au format standard BLE. Il gère aussi la fragmentation et la recombinaison c'est-à-dire qu'il casse les longs messages en morceaux pour qu'ils soient transmissibles et les recombine à la réception.
- **Attribute Protocol** : il gère les aspects client/serveur du protocole BLE.
- **Security Manager Protocol** : il gère la sécurité de la connexion (clé d'échange initiale, transmission chiffrée) et cache l'adresse Bluetooth pour éviter que l'appareil ne soit tracé.
- **Generic Attribute Protocol** : il établit l'Attribute Protocol en ajoutant une hiérarchie qui définit comment sont organisées les données et les échanges entre applications. Il fournit une structure standardisée pour que les applications d'un certain type échangent des informations. Par exemple, il y a des profils officiels pour la mesure du rythme cardiaque et la température du corps, facilitant la création d'applications pour les développeurs notamment.
- **Generic Access Protocol** : il fournit l'environnement pour que les appareils découvrent d'autres appareils, établissent des connexions sécurisées et s'occupent des autres niveaux d'opérations de manière constante. Plus précisément, ce protocole définit les rôles qu'un appareil peut prendre sur le réseau, les modes par lesquels il peut opérer selon ces rôles et les procédures disponibles pour chaque rôle.

## Chapitre 4

# Utilisation de la localisation indoor dans le domaine de la santé

### 4.1 Optimisation des flux

Le système de localisation indoor dans le domaine de la santé et spécialement dans les centres hospitaliers ont plusieurs utilités et peuvent permettre beaucoup de choses. L'IPS permet de localiser des gens mais aussi des équipements médicaux, d'optimiser les différents flux de travail et donc de pouvoir potentiellement optimiser et améliorer la qualité des centres hospitaliers.

La localisation indoor pourrait servir à améliorer voire même optimiser l'accueil des patients et des visiteurs dans un centre hospitalier par exemple. L'IPS pourrait être utilisée comme un outil de guidage ce qui pourrait désengorger les accueils ou autres lieux de renseignements permettant ainsi de fluidifier la circulation dans certains services en fonction des heures.

L'IPS, dans les bâtiments de santé, a aussi comme but d'améliorer la qualité des soins et des services mais aussi de sécuriser le personnel, les patients mais aussi le matériel médical. En effet, il pourrait servir à suivre les patients ou du personnel soignant afin d'anticiper une demande ou un problème et de les gérer plus facilement. Son utilisation pourrait être par exemple le suivi de patients dans des hôpitaux psychiatriques pour qu'ils se déplacent plus facilement dans le centre et avec plus de sécurité. On peut aussi l'utiliser dans tous les centres hospitaliers avec un système d'appel des infirmiers qui appelleraient l'infirmier/ère disponible le ou la plus proche. Ce système pourrait être dérivé de manière à connaître le matériel le plus proche.

Les données collectées par cette technologie vont aussi permettre de pouvoir produire beaucoup de statistiques quant au fonctionnement d'un service et à plus grande échelle d'un centre hospitalier. Ces statistiques pourront prendre plusieurs formes comme le nombre de visiteurs dans un service, le déplacement du personnel et le nombre de temps qu'il reste dans un endroit, suivre les files d'attente et leur comportement ou

encore la fréquence d'utilisation d'un matériel médical.

Le fait de connaître toutes ces statistiques pour un centre hospitalier va lui permettre d'opérer des changements et d'optimiser ses services et son fonctionnement pour diminuer ses coûts. L'IPS a donc aussi cette vocation qui est de pouvoir faire gagner du temps et de l'argent avec son utilisation.

Cependant l'utilisation de cette technologie n'est pas forcément facile à mettre en place dans un centre hospitalier et peut poser plusieurs problèmes éthiques.

## 4.2 Problématiques éthiques

Comme le décrivent A. L. Tucker et S. J. Spear dans « Operational failures and interruptions in hospital nursing », la technologie IPS peut être vu comme un « big brother » qui épierait tous vos faits et gestes. Dans leur rapport, ils ont aussi décrit un scénario qu'ils ont observé dans un hôpital à Londres en 2001 et où la mise en d'un tel système avait échoué en raison du refus du personnel d'utiliser le système.

Les performances de l'IPS peuvent elles aussi varier en fonction de l'environnement et de l'utilisation de ce système. Dans « Performance analysis of multiple indoor positioning systems in a healthcare environment » , Van Haute et ses collaborateurs ont défini plusieurs critères d'évaluation très importants pour l'IPS dans un environnement hospitalier.

- précision de la chambre : capacité à positionner l'appareil dans la bonne chambre
- latence : le temps écoulé entre le moment où la position d'un appareil est demandée et le moment où livré
- temps/coût d'installation
- la consommation d'énergie

Il faut donc se rapprocher le plus possible de toutes ses caractéristiques pour que notre système soit le plus performant possible et ce dans beaucoup d'environnement.

Un des autres problèmes que peut poser la localisation indoor dans les centres hospitaliers et la plupart des bâtiments de santé, c'est la manière et les technologies que l'on va utiliser. En effet, l'appareil le plus courant à utiliser dans les systèmes de positionnement en intérieur est le smartphone. Leur utilisation est autorisée dans la plupart des hôpitaux en général. Cependant, ils ne peuvent pas être utilisés dans certains endroits ou services pour qu'ils ne puissent pas interférer avec les équipements médicaux de pointe.

Mettre en place cette technologie dans les centres hospitaliers et autres bâtiments de santé peut donc avoir un véritable impact positif sur un service, voire tous. L'IPS pouvant à la fois améliorer et optimiser le fonctionnement au sein d'un hôpital et ce de plusieurs manières. Cependant il peut poser un certain nombre de questions éthiques qui doivent être répondues avant de le mettre en place afin qu'il soit le plus performant possible mais aussi d'utiliser des technologies qui ne perturbent pas le fonctionnement normal de l'établissement.

## Chapitre 5

# Conclusion

A travers cette étude, nous avons pu voir de plus près les bases de la localisation indoor. Nous allons donc utiliser la technologie BLE, à l'aide des beacons.



# Bibliographie

- [1] NAO Track - Pole Star.
- [2] Santé - Pole Star.
- [3] Solution de géolocalisation indoor des biens et des personnes - Timcod.
- [4] SUIVI DE FLUX AMBULATOIRE A LA CLINIQUE REIMS-BEZANNES DU GROUPE COUR-LANCY SANTE - Pole Star.
- [5] Système de positionnement en intérieur à Wikipédia.
- [6] Geofencing : A High-Tech Term That Aims to Surround Us : EBSCOhost, 2019.
- [7] ABET Mathieu. Qu'est-ce que le Bluetooth Low Energy (BLE) ?, mar 2019.
- [8] BONZOM Pierre. Localisation Indoor : quelle technologie pour quel usage ?, jul 2019.
- [9] Clidans. La géolocalisation Indoor, quel usage ? - Clidans, dec 2017.
- [10] CREURER Laurent. Les technologies de géolocalisation indoor - Le blog de Clever Age, may 2015.
- [11] Paul Daniel. Que vous soyez prêt ou pas, le Bluetooth arrive..., jun 2019.
- [12] WATERLOT Fanny. RTLS : quels usages pour la localisation indoor haute précision ?, 2020.
- [13] Geoffray. [Infographie] iBeacon : tout savoir sur le fonctionnement des Beacons, 2014.
- [14] Carles Gomez, Joaquim Oller, and Josep Paradells. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy : An Emerging Low-Power Wireless Technology. *Sensors*, 12(9) :11734–11753, aug 2012.
- [15] Carles Gomez, Joaquim Oller, and Josep Paradells. Overview and evaluation of bluetooth low energy : An emerging low-power wireless technology. *Sensors (Switzerland)*, 12(9) :11734–11753, 2012.
- [16] Tom Haute, Eli Poorter, Pieter Crombez, Filip Lemic, Vlado Handziski, Niklas Wirström, Adam Wolisz, Thiemo Voigt, and Ingrid Moerman. Performance analysis of multiple Indoor Positioning Systems in a healthcare environment. *International Journal of Health Geographics*, 15(1) :7, feb 2016.
- [17] Albin Hjalmarsson and Henrik Johansson. Localisation and Mapping of Received Signal Strength in a Hospital Environment. Technical report.
- [18] Albin Hjalmarsson and Henrik Johansson. *Localisation and Mapping of Received Signal Strength in a Hospital Environment*. PhD thesis.

- [19] M Jean-gabriel Krieg, M M Andre Luc Beylot Gentian Jakllari, Mme Nathalie Mitton, Inria D Vileneuve, Ascq M Nicolas Montavont, M Thomas Noel, Universite DE Strasbourg, and Président M Andre. Thèse UFTMP : Localisation indoor à l’aide des capteurs d’un smartphone Directeur(s) de Thèse : Rapporteurs : Membre(s) du jury. Technical report, 2017.
- [20] Maged N. Kamel Boulos and Geoff Berry. Real-time locating systems (RTLS) in healthcare : A condensed primer, jun 2012.
- [21] Johan Larsson. Distance Estimation and Positioning Based on Bluetooth Low Energy Technology. Technical report.
- [22] Jeongyeup Paek, Jeonggil Ko, and Hyungsik Shin. A Measurement Study of BLE iBeacon and Geometric Adjustment Scheme for Indoor Location-Based Mobile Applications. *Mobile Information Systems*, 2016, 2016.
- [23] Sharif Vakili, Ravi Pandit, Eric L. Singman, Jeffrey Appelbaum, and Michael V. Boland. A comparison of commercial and custom-made electronic tracking systems to measure patient flow through an ambulatory clinic. *International Journal of Health Geographics*, 14(1) :1, oct 2015.
- [24] Ailish Valeriano, Shyan Van Heer, and François de Champlain. To appear in : Resuscitation. 2020.
- [25] Ailish Valeriano, Shyan Van Heer, François de Champlain, and Steven Brooks. Crowdsourcing to save lives : A scoping review of bystander alert technologies for out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*, nov 2020.
- [26] Tom Van and Dijk April. Indoor localization using BLE Using Bluetooth Low Energy for room-level localization Internship Report. Technical report.
- [27] Jake Wall, George Wittemyer, Brian Klinkenberg, and Iain Douglas-Hamilton. Novel opportunities for wildlife conservation and research with real-time monitoring. *Ecological Applications*, 24(4) :593–601, 2014.
- [28] Jeroen Wyffels, Jos De Brabanter, Pieter Crombez, Piet Verhoeve, Bart Nauwelaers, and Lieven De Strycker. Distributed, signal strength-based indoor localization algorithm for use in healthcare environments. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(6) :1887–1893, nov 2014.
- [29] Wyffels Jeroen, De Brabanter Jos, Crombez Pieter, Verhoeve Piet, Nauwelaers Bart, and De Strycker Lieven. Sci-Hub | Distributed, Signal Strength-Based Indoor Localization Algorithm for Use in Healthcare Environments. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(6), 1887â1893 | 10.1109/JBHI.2014.2302840, 2014.
- [30] Yuan Zhuang, Jun Yang, You Li, Longning Qi, and Naser El-Sheimy. Smartphone-based indoor localization with bluetooth low energy beacons. *Sensors (Switzerland)*, 16(5) :596, apr 2016.