



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique**  
**Université Mohamed Kheider – BISKRA**  
**Faculté des Sciences Exactes**  
**Département d'informatique**

N° d'ordre : IVA/M2/2025

## **Mémoire**

**Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en  
Informatique**  
**Parcours : Image et Vie Artificiel (IVA)**

---

# **Réalisation d'une application en réalité augmentée pour la navigation intérieure**

---

Présenté Par :

**Loubna Meghazi**

**Assia Bouaziz**

Soutenu le 04 juin 2025, devant le jury composé de :

Babahenini Mahamed Chaouki	Prof	Président
Bouguettiche Amina	MCB	Rapporteur
Boucetta Mebarek	MAA	Examinateur

Année Universitaire 2024/2025

# **Remerciements**

*C'est avec fierté et humilité que  
Nous exprimons notre plus profonde gratitude à  
Dieu Tout-Puissant, qui par sa grâce et sa miséricorde  
Nous a permis d'atteindre  
C'est une grande réussite. Nous tenons également à exprimer notre  
profonde gratitude à  
Notre honorable superviseur, **Dr Amina Bouguettiche**, qui a  
Gentiment apportant ses vastes connaissances  
Elle nous a donné de précieux conseils tout au long de la préparation  
de cette recherche. Sa vision était  
Ses conseils ont eu un grand impact sur notre développement  
académique.  
Nous remercions également les honorables messieurs  
Les membres du comité doivent accepter et évaluer notre travail,  
Ce qui nous a motivé à continuer notre voyage.  
Sur le plan académique, avec détermination et persévérance.  
Nous tenons également à remercier tous ceux qui ont contribué  
directement ou indirectement.  
Terminez ce travail.  
À vous tous, du fond du cœur, nous disons : Merci.  
Assia Bouaziz , Loubna Meghazi.*

## Dédicaces

*Je dédie cet ouvrage à **Mon cher père** qui a toujours été mon principal soutien par ses soins constants et ses encouragements continus. L'avoir à mes côtés m'a donné la force et la capacité de faire face à n'importe quel défi.*

*Un merci spécial à **Ma mère** bien-aimée dont le soutien affectueux a contribué à créer un environnement idéal pour moi, m'aidant à me concentrer et à m'épanouir.*

*Son soutien indéfectible a eu un impact profond sur moi.*

*Je voudrais également exprimer ma gratitude à mes frères Zoubir et Mebarek qui m'ont apporté un soutien financier et moral continu. Leur rôle essentiel dans ma réussite est inoubliable et je leur en suis extrêmement reconnaissant.*

*Je voudrais également adresser mes sincères remerciements à mes sœurs Rima, Afef et Fatima pour leur précieux soutien et leurs encouragements.*

*Je ne peux également que témoigner mon profond amour à mes nièces et neveux : Nada, Douaa, Houssam El-Din, Adam, Layane, Asma, Melina et Rahaf, qui apportent de la joie à mon cœur et dont la présence constante a été pour moi une source de bonheur et d'inspiration.*

*Merci !*

**ASSIA BOUAZIZ**

## ***Dédicaces***

À mes chers parents, source de tendresse et de sagesse,  
vous avez été les premiers à semer dans mon cœur les graines du rêve,  
et les premiers à m'apprendre à affronter la vie avec courage et constance.

**Papa**, tu as toujours été mon modèle de patience et de dignité.

**Maman**, tu es et restes la source d'un amour inépuisable.

Sans vos prières et la chaleur de votre présence, ce voyage n'aurait jamais eu d'âme.

À mes frères et sœurs, compagnons de chaque instant,  
ceux qui ont partagé avec moi les joies de l'enfance et les défis de l'âge adulte,  
vous êtes une partie inséparable de mon être.

Grâce à vous, j'ai compris le vrai sens de la sécurité et de l'appartenance.

Une pensée particulière pour mon frère Walid,  
pour son soutien moral et matériel qui a été d'un grand secours,  
et pour mon frère Youssef, et pour mon frère et ami reda,dont la présence  
fidèle et le soutien constant ont été essentiels tout au long de ce parcours  
. qui est un véritable paradis dans ma vie, une lumière constante.

J'adresse aussi cette œuvre à mes véritables amis,  
ceux qui m'ont soutenu dans le silence comme dans le bruit,  
dans la joie comme dans la fatigue,

et qui ont toujours été un rayon de lumière dans les jours sombres.

À vous tous, je dédie ce mémoire avec fierté et gratitude.

Vous êtes les racines, le soutien, et la mémoire que je chérirai pour toujours.

Je dédie également ce travail comme un message de motivation à mes neveux et nièces,  
ainsi qu'à mes propres enfants,  
dans l'espoir qu'il soit pour eux une source d'inspiration,  
et une preuve que la volonté et le travail peuvent changer les choses.

*Merci !*

***LOUBNA MEGHAZI***

## **Résumé**

À l'ère où les technologies numériques font partie intégrante de notre quotidien, ce projet se distingue comme une initiative novatrice visant à améliorer l'expérience de navigation dans les espaces intérieurs. L'objectif principal est de concevoir une application intelligente qui redéfinit le concept de guidage intérieur, permettant aux utilisateurs d'atteindre leurs destinations avec une simplicité inédite.

L'idée de base de l'application repose sur l'utilisation de flèches virtuelles affichées sur l'écran de l'utilisateur. Ces flèches ne se contentent pas de guider l'utilisateur vers sa destination, mais interagissent intelligemment avec sa position actuelle. Elles s'ajustent en temps réel pour garantir une navigation précise et fluide dans l'environnement intérieur.

L'application ne se limite pas à un rôle de guidage. Elle vise également à offrir une expérience innovante, adaptée aux besoins de divers utilisateurs, qu'ils se trouvent dans des centres commerciaux, des hôpitaux ou des universités. Le projet met l'accent sur l'amélioration de l'expérience utilisateur grâce à une interface visuelle attrayante et facile à utiliser.

Avec cette solution intelligente, il devient possible non seulement de simplifier les déplacements dans les espaces clos, mais également de transformer cette activité en une expérience agréable et efficace, en phase avec les avancées technologiques et ouvrant de nouvelles perspectives dans le domaine du guidage numérique.

**Mots-clés :** Réalité augmentée, espaces intérieurs, guidage, navigation numérique

## Abstract

In an era where digital technologies have become an integral part of our daily lives, this project emerges as an innovative step toward enhancing the experience of indoor navigation. The primary goal is to design an intelligent application that redefines the concept of indoor guidance, enabling users to reach their destinations with unprecedented ease.

The core idea of the application lies in providing a flexible and dynamic experience through virtual arrows displayed on the user's screen. These arrows not only guide the user to their destination but also interact intelligently with their current location, updating in real time to ensure precise and seamless navigation within the indoor environment.

The application is not limited to navigation alone. It aims to deliver an innovative experience that meets the needs of various users, whether in shopping malls, hospitals, or universities. The project focuses on enhancing the user experience by offering a visually appealing and user-friendly interface.

Through this smart solution, we can not only simplify movement within enclosed spaces but also transform this activity into an enjoyable and efficient experience that aligns with technological advancements and opens new horizons in the field of digital guidance.

**Keywords:** Augmented reality, indoor spaces, navigation, digital guidance.

# ملخص

في عصر أصبحت فيه التقنيات الرقمية جزءاً لا يتجزأ من حياتنا اليومية، يبرز هذا المشروع كمبادرة مبتكرة تهدف إلى تحسين تجربة التنقل في الأماكن الداخلية. الهدف الرئيسي هو تصميم تطبيق ذكي يعيد تعريف مفهوم التوجيه الداخلي، مما يسمح للمستخدمين بالوصول إلى وجهاتهم ببساطة غير مسبوقة.

تعتمد الفكرة الأساسية للتطبيق على استخدام الأسهم أو خط افتراضي معروض على شاشة المستخدم مدعم بالصوت. بحيث لا تقوم هذه الأسهم أو الخطوط بتوجيه المستخدم إلى وجهته فحسب، بل تتفاعل أيضاً بناءً على موقعه الحالي. يتم ضبطها في الوقت الحقيقي لضمان التنقل الدقيق والسلس في البيئة الداخلية.

لا يقتصر التطبيق على الدور الإرشادي فقط، بل ويهدف أيضاً إلى تقديم تجربة مبتكرة تتكيف مع احتياجات المستخدمين المختلفين، سواء كانوا في مراكز التسوق أو المستشفيات أو الجامعات. يركز المشروع على تحسين تجربة المستخدم من خلال واجهة مرئية جذابة وسهلة الاستخدام.

بفضل هذا الحل الذكي، أصبح من الممكن ليس فقط تبسيط الحركة في الأماكن الضيقة، بل أيضاً تحويل هذا النشاط إلى تجربة ممتعة وفعالة، بما يتماشى مع التقدم التكنولوجي وفتح آفاق جديدة في مجال التوجيه الرقمي.

**الكلمات المفتاحية:** الواقع المعزز، المساحات الداخلية، التوجيه، الملاحة الرقمية.

---

## Table des matières

<b>Remerciements</b>	i
<b>Dédicaces</b>	ii
<b>Résumé</b>	vi
<b>Abstract</b>	vii
<b>Table des matières</b>	ix
<b>Table des figures</b>	xiii
<b>Table des tableaux</b>	xv
<b>Introduction Général</b>	01
<b>Chapitre1: La Réalité augmentée</b>	03
1. Introduction	04
2. Définition	04
3. Historique	05
4. Applications principales de la réalité augmentée	11
5. Outils et technologies utilisés	14
a. Appareils mobiles	14
b. Lunettes et casques intelligents	15
c. Logiciels de développement	15
d. Capteurs et caméras	16
6. Outils et cadres de développement pour la réalité augmentée (RA)	16
a. ARCore (Google)	16
b. ARKit(Apple)	17
c. Unity 3D	18
d. ARFoundation	19
7. Conclusion	19
<b>Chapitre2: La Navigation Intérieure</b>	20
1. Introduction	21
2. La Définition de la navigation et ses types	21
a. La navigation extérieure (Navigation extérieure)	22
b. La navigation intérieure (Navigation intérieure)	22
c. La géolocalisation (Géolocalisation)	22
3. Système de positionnement intérieur (le lien entre la navigation extérieure et les environnements intérieurs)	23
4. Concept le système de positionnement intérieur (IPS)	23
5. Nécessité de la géolocalisation intérieure	24

---

5.1. Limites du GPS en intérieur	24
5.2. L'importance d'un positionnement précis en intérieur	25
6. Fonctionnement des systèmes de navigation intérieure	25
7. Les Technologies utilisées pour la navigation intérieure	26
7.1. IPS basé sur les signaux radio	27
7.2. IPS basé sur les signaux lumineux	27
7.3. IPS basé sur les signaux acoustiques	28
7.4. IPS basé sur le champ magnétique	28
8. Suivi de la localisation des appareils mobiles	28
9. Applications et cas d'usage des technologies de navigation intérieure	28
9.1. Aéroports et gares	28
9.2. Industrie et fabrication	29
9.3. Centres commerciaux	29
9.4. Hôpitaux	29
9.5. Parkings à plusieurs étages	29
10. Différence entre IPS et GPS	30
11. Navigation intérieure vs géolocalisation intérieure	31
12. Différences entre les technologies de navigation intérieure	32
13. L'importance de la navigation interne	33
13.1. Améliorer l'expérience utilisateur	33
13.2. Bon pour les affaires	33
14. Utilisation de la réalité augmentée dans la navigation intérieure	34
a. Expérience intuitive	34
b. Contexte enrichi	34
c. Engagement	34
15. Applications existantes de navigation intérieure en RA	35
16. Études de cas sur les applications de réalité augmentée pour la navigation intérieure	39
a. Hôpitaux : Étude de cas du Cedars-Sinai Medical Center (États-Unis)	39
b. Étude de cas : Projet de RA Aéroport de Gatwick AR (United Kingdom : West Sussex)	40
17. Conclusion	42
<b>Chapitre3: Conception</b>	43
1. Introduction	44
2. Problème et Objectif	44
3. Analyse des Besoins	44
3.1. Besoins Fonctionnels	44

---

3.2. Besoins Non Fonctionnels	45
4. Étapes de Réalisation d'un Système de Navigation en RA	45
4.1. Collecte et Préparation des Données	45
4.2. Développement de l'application	45
4.3. Tests et optimisation	46
4.4. Déploiement et maintenance	46
5. Conception de l'Interface Utilisateur	46
6. Conception Technique	47
6.1. Conception Générale	47
6.2. Conception d'étaillée	47
6.2.1. Diagramme de cas d'utilisation	47
6.2.2. Diagramme de Class	49
6.2.3. Diagramme de séquence	52
7. Diagramme d'activité	54
8. Conclusion	55
<b>Chapitre4: Implémentation</b>	56
1. Introduction	57
2. Objectifs de l'application	57
3. Rappel des besoins	58
a. Besoins fonctionnels	58
b. Besoins non fonctionnels	58
4. Architecture	59
a. Module Interface Utilisateur (UI)	60
b. Module de Gestion des Cibles	60
c. Module de traitement des requêtes de l'utilisateur	62
d. Rechercher le chemin vers une destination à partir d'une liste	63
e. Module de lecture du codeQR	64
f. Module de Navigation et Calcul d'Itinéraire	65
5. Présentation de l'Interface Utilisateur	69
6. Tests et Résultats	74
7. Conclusion	77
<b>Conclusion générale</b>	79
<b>Références</b>	81

---

## Table des figures

### I

I.1	Continuum entre le monde réel et monde virtuel .....	05
I.2	Sensorama 1962.....	06
I.3	Ivan Sutherland, l'inventeur de la Réalité Augmenté.....	07
I.4	Touring Machine créée par Steve Feiner.....	08
I.5	Le premier jeu de télé-réalité augmenté en plein air (ARQuake).....	09
I.6	Lunette Google Glass. ....	10
I.7	Casque Holo lens .....	11
I.8	Education dans la realitré augmentrée .....	12
I.9	Sante dans la realité augmentée .....	12
I.10	Jeux dans la realité augmentée .....	13
I.11	Le Commerce dans la realité augmentée .....	13
I.12	Le Touriseme dans la realité augmentée .....	14
I.13	Le Smart phone dans la realité augmentée .....	14
I.14	Lunettes et Casques Intelligent.....	15
I.15	Logiciels pour la realitre vertuel.....	15
I.16	Capteurs et Caméras .....	16
I.17	ARCore(Google).....	17
I.18	LEGO AR City utilise les fonctionnalités d'ARKit 2, notamment les expériences partagées, la réalité augmentée persistante et la détection d'objets 3D, pour donner vie aux créations et aux personnages LEG .....	17
I.19	Navigation en Réalité Augmentée avec Wikitude .....	18

### II

II.1	La Géolocalisation .....	22
II.2	Présentation des technologies de navigation intérieure .....	24
II.3	Image illustrant comment Nécessité de la géolocalisation intérieure.....	25
II.4	Image illustrant comment cela fonctionne des systèmes de navigation intérieure .....	26
II.5	Types de signaux utilisés dans la navigation intérieure.....	26
II.6	Bluetooth-Beacon-usags .....	27
II.7	Une image montrant les cas d'utilisation courants du IPS .....	30
II.8	Une image illustrant comment IPS et GPS diffèrent .....	31
II.9	Utilisation de la réalité augmentée dans la navigation intérieure .....	34

---

II.10	Hopital Cedars-Sinai lance un système de navigation en RA. ....	39
II.11	L'aéroport de Gatwick lance un système de navigation en réalité augmentée .....	40
II.12	L'aéroport de Gatwick en navigationde la RA. ....	41
III		
III.1	La Diagramme de cas d'utilisation.....	48
III.2	Description des classes principales du système.....	50
III.3	Le Diagramme de séquence.....	53
III.4	Diagramme d'activité .....	54
VI		
IV.1	Architecture des Modules de Navigation Assistée par QR Code .....	59
IV.2	Fonction de génération des données cibles à partir d'une source JSON .....	61
IV.3	Création et initialisation dynamique des cibles dans la scène. ....	61
IV.4	Rempissage du menu(DropDown).....	62
IV.5	Les demandes utilisées présentent le lieu à l'aide du code QR .....	63
IV.6	Sélection et récupération de la position d'une cible via Dropdown ou texte .....	63
IV.7	Fonction de rechercher le chemin .....	64
IV.8	Fonction de Lire le code QR.....	64
IV.9	Fonction de calcul du chemin .....	65
IV.10	Exemple de guidage vocal .....	65
IV.11	Calcul de l'angle signé entre deux directions en 3D .....	66
IV.12	Fonction de mettre à jour le chemin .....	66
IV.13	Fonction de HandleVoiceGuidance .....	67
IV.14	Le code implémente le changement de direction de l'utilisateur et lit le guidage vocal pour tourner à droite ou à gauche.....	68
IV.16	Image application illustrative.....	69
IV.17	Image illustrative de l'application .....	70
IV.18	Afficher /Masquer la carte de navigation .....	71
IV.19	Un étage précis.....	72
IV.20	Scanner le code QR et Hauteur de ligne .....	73
IV.21	les capture de application.....	75
IV.22	Utilisation du code QR à l'entrée et navigation vers le 2e étage .....	76



---

## Table des tableaux

II.1 Tableau comparatif des différentes techniques de navigation .....	32
II.2 Applications existantes de navigation intérieure en RA.....	38

---

# ***Introduction Générale***

Dans un monde où la technologie est en constante évolution, la réalité augmentée (RA) est devenue l'une des innovations les plus importantes qui a changé la façon dont nous interagissons avec notre environnement. Cette technologie crée un pont entre le monde réel et les éléments numériques, permettant aux utilisateurs de vivre une expérience unique où des informations virtuelles telles que des images 3D, du texte et du contenu interactif sont affichées en synchronisation avec l'environnement réel.

La réalité augmentée a le potentiel de fournir des solutions pratiques et innovantes dans divers domaines tels que l'éducation, la médecine, l'ingénierie, le divertissement et le marketing. Il s'appuie sur des technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, la reconnaissance d'images et les systèmes de suivi de mouvement, ce qui en fait un outil puissant pour améliorer l'efficacité et simplifier les processus complexes.

Malgré les progrès significatifs des technologies de navigation GPS en extérieur, la navigation en intérieur reste un défi important, car les signaux GPS sont souvent indisponibles ou inexacts à l'intérieur des bâtiments, ce qui rend difficile le guidage des utilisateurs dans des environnements complexes tels que les hôpitaux, les musées ou les universités.

En Algérie, ce manque de solutions locales adaptées est exacerbé, rendant indispensable le développement d'outils adaptés à notre contexte, capables de guider les utilisateurs de manière simple et précise sans nécessiter d'infrastructures coûteuses.

Ce projet vise à concevoir et développer une application de navigation intérieure qui permet aux utilisateurs d'atteindre leur destination en suivant des flèches virtuelles qui changent de direction en fonction de leur emplacement, offrant une solution moderne et précise aux besoins croissants de mobilité intérieure.

Ce projet intègre la plateforme Unity et la technologie AR Foundation, ainsi que l'intégration de codes QR pour faciliter l'interaction avec l'application.

Pour atteindre cet objectif, le mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit :

Le chapitre 1 fournit une définition de la réalité augmentée, ses principes de base, ses domaines d'application et les outils et technologies utilisés.

---

Le chapitre 2 se concentre sur les systèmes de positionnement intérieur (IPS) et les compare au GPS traditionnel. examine et analyse les applications pratiques et les expériences mondiales dans le domaine de la mobilité intérieure et des technologies de réalité augmentée, en se concentrant sur l'évaluation des solutions actuelles, les défis auxquels elles sont confrontées et les leçons apprises pour développer des applications plus efficaces qui répondent mieux aux besoins des utilisateurs.

Enfin, les chapitres 3 et 4 sont dédiés à la conception, à la mise en œuvre et à l'évaluation de l'application de navigation intérieure basée sur la réalité augmentée proposée.

## *La Réalité augmentée*

## 1. Introduction

Avec son évolution constante, la réalité augmentée a profondément modifié notre manière d'interagir avec le monde qui nous entoure, offrant une compréhension plus approfondie des informations et améliorant l'efficacité des performances dans de nombreux secteurs.

Dans ce chapitre, nous définirons la réalité augmentée, en mettant en lumière les principales différences entre elle, la réalité virtuelle et la réalité mixte. Nous explorerons également ses principales applications, ainsi que les outils et technologies utilisés pour la mettre en œuvre et comprendre son fonctionnement.

## 2. Définition

La réalité augmentée (RA) est une technologie innovante qui intègre des éléments virtuels, tels que des images, des textes, des vidéos ou des modèles tridimensionnels (3D), dans notre environnement réel. Elle permet de préserver la perception naturelle du monde tout en enrichissant ce dernier par des contenus numériques ajoutés en temps réel à l'aide de dispositifs spécialement conçus. Le terme « augmentée » souligne l'idée que notre perception visuelle est modifiée par l'insertion harmonieuse de modèles virtuels, en 2D ou en 3D, dans notre environnement immédiat, offrant ainsi une nouvelle perspective sur la réalité.

À la différence des technologies de réalité virtuelle, qui visent à recréer un monde entièrement artificiel et à isoler l'utilisateur de son environnement réel, la réalité augmentée repose sur le principe d'une superposition subtile et transparente. L'environnement demeure réel, mais il est complété et enrichi par des informations, des images et des objets générés par des systèmes informatiques, comblant ainsi le fossé entre le réel et le virtuel de manière fluide.

Pour mieux comprendre cette distinction fondamentale, Milgram et ses collaborateurs ont introduit le concept de continuum entre la réalité virtuelle et la réalité augmentée. Ce continuum, qu'ils nomment réalité mixte, établit une transition graduelle entre le monde réel et le monde virtuel, comme illustré dans la figure 1.1.

La réalité augmentée se situe à proximité du monde réel, où elle agit comme une extension de celui-ci, tandis que la virtualité augmentée se positionne plus proche du monde virtuel, créant une expérience davantage axée sur le numérique et la simulation. Cette vision globale met en évidence le rôle unique de la RA, qui relie harmonieusement ces deux univers [1].

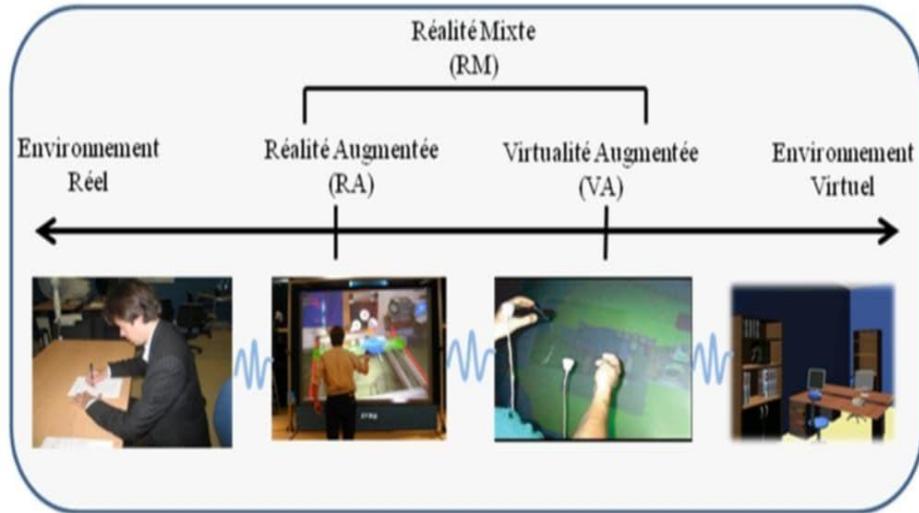


Figure I.1 Continuum entre le monde réel et le monde virtuel

### 3. Historique

La réalité augmentée a été proposée à l'origine par Horton Heilig, qui a créé "Sensorama" en 1962. C'est un casque équipé de capteurs qui peuvent simuler des scènes comme conduire une moto à New York. même si cette application est plutôt de la réalité virtuelle, c'est-à-dire la possibilité d'accéder au monde virtuel, elle contient les éléments de base de la réalité augmentée, voir la figure 1.2 [5]

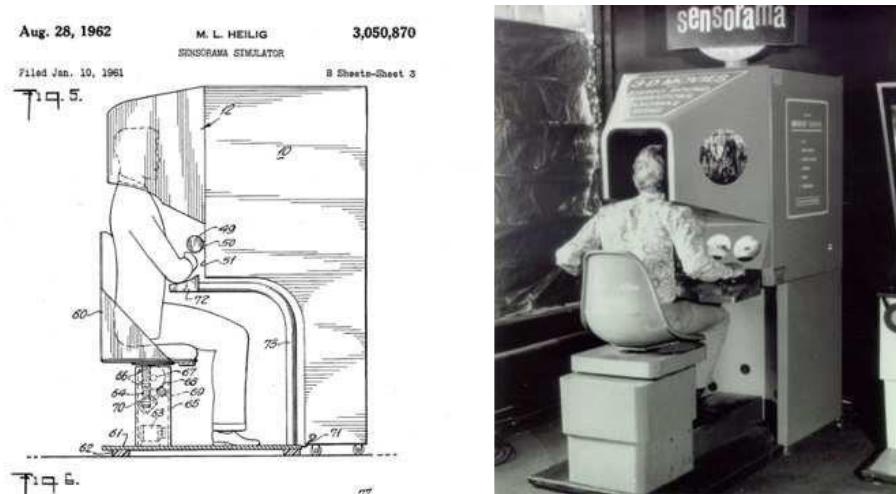


Figure I.2 - Sensorama 1962 [3]

En 1968, Ivan Sutherland a inventé le premier casque HUD avec une vision transparente qui répond aux mouvements de la tête.

L'appareil est baptisé « Épée de Damoclès », car il se porte directement sur la tête, comme illustré dans la figure 1.3, l'ingénieur américain Ivan Sutherland est un pionnier d'internet et l'inventeur de la réalité augmentée. dès les années 1960, il se consacre à la conception du logiciel de modélisation 3D et de simulation visuelle sketchpad, qui fait partie de sa thèse dans la prestigieuse université technologique de Boston, le MIT.

En 1968, il publie le livre "Head-mounted 3D Display" à l'université de Salt Lake City dans l'Utah, aux États-Unis, qui présente un dispositif de lunettes pour voir des images en 3D, véritable ancêtre des google glass réelle avancée dans l'histoire de la réalité augmentée, Voir la figure numéro 1.3 [6]

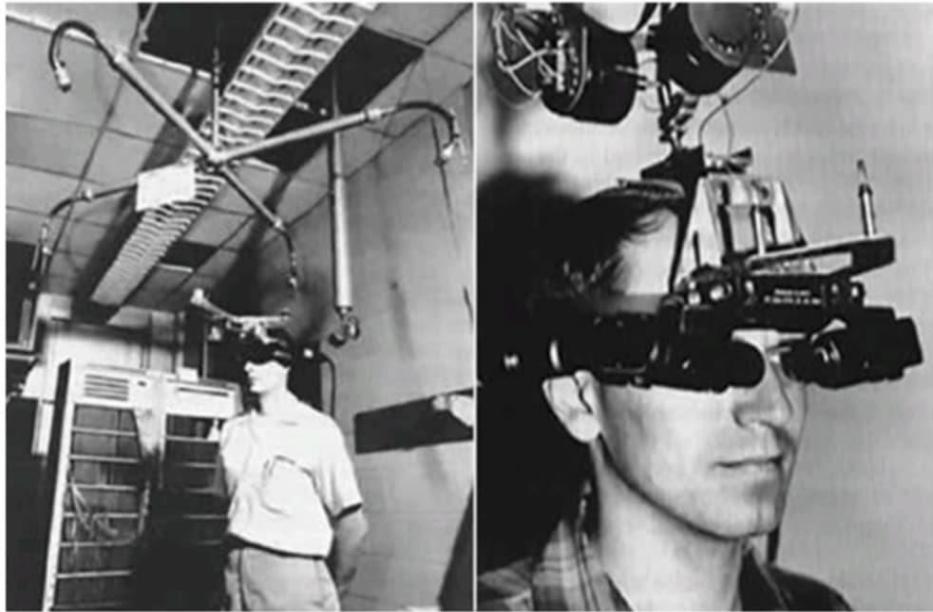


Figure I.3 - Ivan Sutherland, l'inventeur de la réalité augmenté.[4]

Dans les années 1980, Steve Mann a inventé Eye Tap, un casque qui peut afficher des informations virtuelles devant les yeux de l'utilisateur. Il s'agit du premier véritable casque de réalité augmentée,

Un concept qui se développera jusqu'à devenir aussi léger qu'une paire de lunettes. dans les années 80, elle était utilisée par les militaires. En effet, les avions de chasse étaient équipés de cette technologie où les informations nécessaires étaient projetées sur le pare-brise du cockpit.

Le système permet aux pilotes de réagir plus rapidement car ils ont la situation réelle (ce qu'ils voient, ce qu'ils ressentent) et les informations qui s'y rapportent. Par conséquent, ils peuvent prendre des décisions plus rapidement.

Le terme réalité augmentée fût formulé par Tom Caudell et David Mizell en 1992, mais sa définition précise a été proposée par Paul Milgram et Fumio Kishino en 1994.

En 1997, fût développé le premier système de RA mobile en extérieur2. mais celui-ci était assez lourd, puisqu'il était constitué d'un ordinateur (porté dans un sac à dos), des lunettes « numériques » et d'un petit ordinateur portable avec interface tactile. Il utilise des signaux GPS pour calculer l'emplacement.

Ce système est la version "old school" que l'on trouve actuellement sur nos smartphones. Suite à cela, beaucoup de plateformes pour différents projets de RA ont vu le jour. Les appareils mobiles se sont progressivement enrichis de fonctions comme le GPS ou l'APN (objectif d'appareil photo numérique). Ces derniers deviennent de plus en plus puissants ,comme illustré dans la figure 1.4.

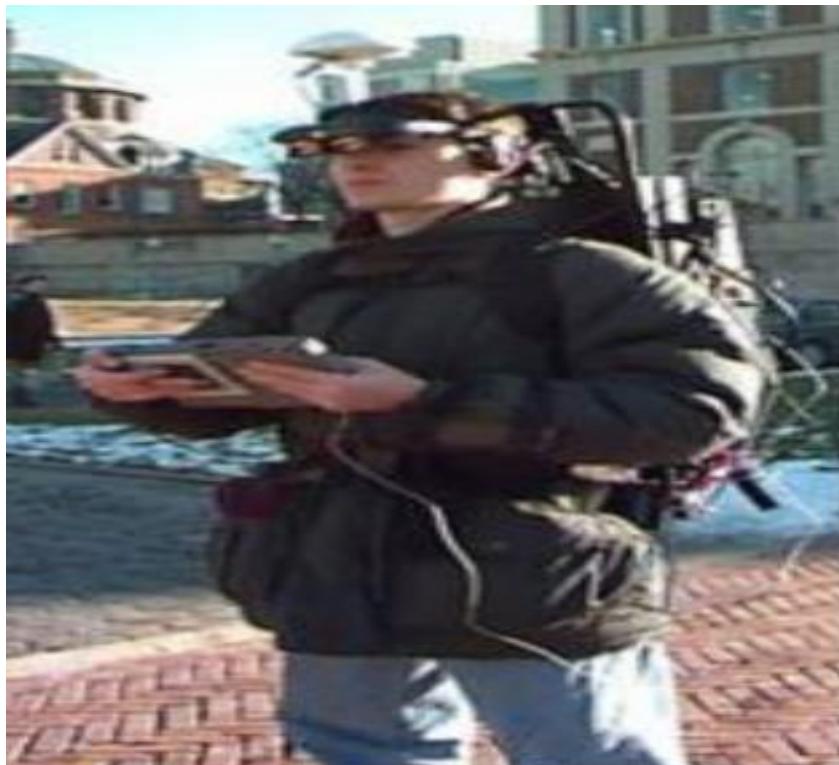


Figure I.4 - Touring machine créée par Steve Feiner [7]

Dans les années 2000, BruceH.Thomas adéveloppé ARQuake, le premier jeu détélé - réalité augmentée en plein air, comme illustré dans la figure 1.5.



Figure I.5 – Le premier jeu de télé-réalité augmentée en plein air (ARQuake).[4]

En 2003, la réalité augmentée que nous connaissons aujourd'hui est vraiment apparue, avec le jeu de chasse aux moustiques Mozzies sur les téléphones mobiles Siemens. En 2007, la Nouvelle-Zélande a repris cette technologie pour faire la promotion des zoos. c'est ainsi que la réalité augmentée a touché vraiment le public. En 2008, la technologie de réalité augmentée a également immersé le spectateur au centre d'une partie du monde réel (environnement réel) et d'une partie du monde virtuel (objets, animaux, etc.). Le public interagit avec des objets virtuels à travers des capteurs pour devenir acteur. depuis avril 2008, le futuroscope a lancé la première application accessible au public, située dans l'attraction les animaux du Futur, un site réalisé par la société française total immersion.

En 2009, lors de la sortie du film " la revanche d'Arthur et Maltazard" endécembre 2009, dassault systèmes a conçu un jeu de réalité augmentée basé sur le progiciel chocapic.

En 2010, la réalité augmentée a pris place dans la publicité. de grandes entreprises comme disney, Coca-Cola ou Pep si se sont emparées de l'AR pour créer des opérations commerciales à grande échelle, notamment grâce aux écrans placés dans les abribus. En 2012, Google a lancé Google Glass, qui était le premier produit AR à être vendu à grande échelle, permettant à chacun d'utiliser cette technologie. cependant, ce produit n'a pas satisfait son public et a marqué l'undes plus gros échecs de l'histoire de la réalité augmentée. De 2014 à 2015, le projet Google Glass a été rendu public, Voir la figure 1.6.

Le plan de recherche et développement de Google comprend la conception d'une paire de lunettes avec des capacités de réalité augmentée. Cependant, dès l'automne 2014, Google Glass

semble avoir stagné.

La raison est bonne : manque d'applications et prix trop élevé. Le 15 janvier 2015, Google a suspendu la production et la vente de lunettes google. Cependant, une nouvelle google glass optimisée pour un usage commercial devrait bientôt faire son apparition.



Figure I.6 – Lunette Google Glass.[3]

Microsoft, Hololens. Il peut reproduire un hologramme adapté au champ de vision de l'utilisateur Microsoft Hololens fait partie du projet Windows Holographic ,une plateforme dédiée à la réalité augmentée et implémentée dans Windows 10, Voir la figure numéro 1.7.



Figure I.7 - Casque Hololens [3]

En 2016 , la réalité augmentée a également été utilisée dans certains jeux vidéo, notamment la PlayStation Vita de Sony et la 3DS de Nintendo, ainsi que les smart phones comme le jeu Pokémon Go sorti en juillet 2016.

En 2019, nouveau rebondissement de l'aventure Google Glass, le géant du web a décidé de reprendre la production de ses lunettes, mais cette fois-ci uniquement pour les professionnels.[8]

#### 4. Applications principales de la réalité augmentée

- **Éducation :** La RA transforme les méthodes d'apprentissage traditionnelles en offrant des outils interactifs comme illustré dans la figure 1.8. les étudiants peuvent explorer des modèles 3D, participer à des simulations réalistes et visualiser des concepts complexes de manière tangible.



Figure I.8 - Education dans la réalité augmentée[9]

- **Santé** : Les professionnels des anté utilisent la RA pour la formation, la chirurgie guidée et la visualisation des données médicales. par exemple, les chirurgiens peuvent projeter des modèles anatomiques en 3D sur le patient pour améliorer la précision des interventions. comme illustré dans la figure 1.9.



Figure I.9 - Sante dans la réalité augmentée[9]

- **Jeux** : La RA révolutionne le monde du jeu en intégrant des éléments virtuels dans des environnements réels, créant des expériences immersives comme Pokémon Go ou Harry Potter: Wizards Unite Voir la figure 1.10.



Figure I.10 - Jeux dans la réalité augmentée[10]

- **Commerce** : La RA permet aux consommateurs de visualiser des produits, comme des meubles ou des vêtements, dans leur espace avant de les acheter, améliorant ainsi l'expérience d'achat en ligne, Selon la figure 1.11.



Figure I.11 - Le commerce dans la réalité augmentée[11]

- **Tourisme :** Les applications de RA enrichissent les visites touristiques en fournissant des informations sur les monuments et les lieux historiques directement sur l'écran du smartphone comme illustré dans la figure 1.12. [5]

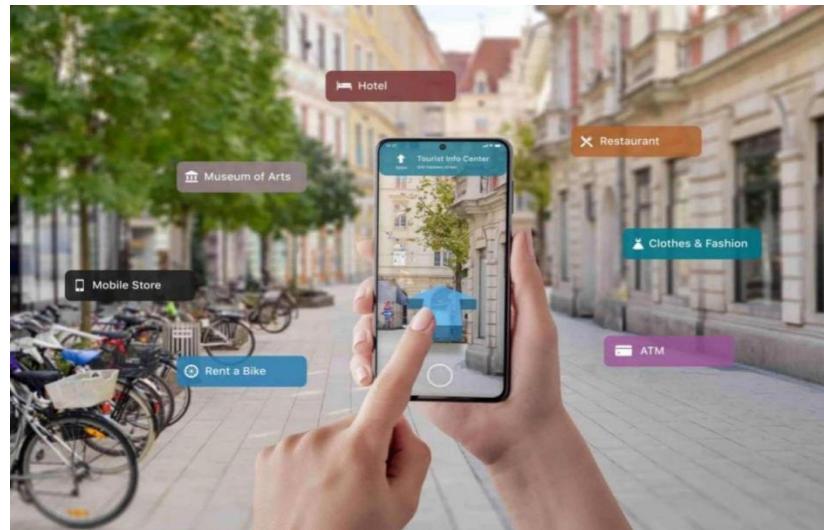


Figure I.12 - Le tourisme dans la réalité augmentée[12]

## 5. Outils et technologies utilisés

La RA repose sur une combinaison de matériels et de logiciels :

- a. **Appareils mobiles :** Smart phones et tablettes équipés de caméras et de capteurs avancés pour superposer des contenus numériques, voir la figure 1.13.

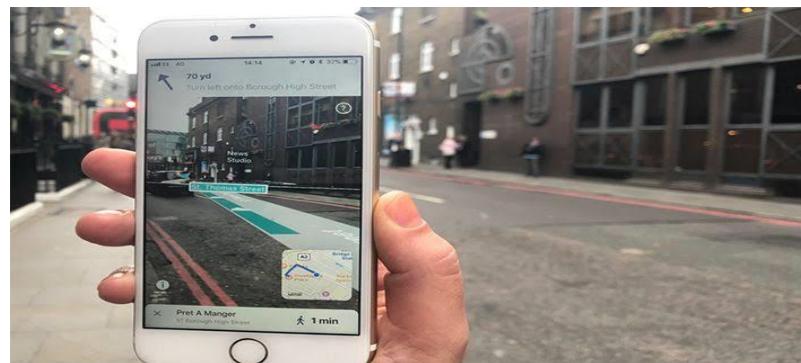


Figure I.13 - Le smart phone dans la réalité augmentée[13]

**b. Lunettes et casques intelligents :** Dispositifs comme le Microsoft HoloLens, qui offrent une expérience de réalité augmentée (RA) mains libres en projetant des éléments numériques directement dans le champ de vision de l'utilisateur (voir la figure 1.14).



Figure I.14 – Lunettes et casques intelligents[14]

**c. Logiciels de développement :** Plateformes telles que ARKit, ARCore et Vuforia, qui permettent aux développeurs de créer des applications RA, comme illustré dans la figure 1.15.



Figure I.15 - Logiciels pour la réalité augmentée [15]

**d. Capteurs et caméras:** utilisés pour cartographier l'environnement et placer précisément les objets virtuels(voir la figure 1.16). [6]



Figure I.16 – Capteur set caméras [16]

## 6. Outils et cadres de développement pour la réalité augmentée (RA)

Avec l'engouement croissant pour la réalité augmentée, plusieurs frameworks ont été développés pour soutenir les développeurs dans la création d'applications RA solides et interactives. Découvrons certains des frameworks les plus en vogue sur le marché actuel.[23]

### a. ARCore (Google)

ARCore est la plateforme de Google qui facilite la création d'expériences en réalité augmentée. ARCore utilise trois fonctions principales pour fusionner du contenu virtuel avec le monde réel (voir la figure 1.17) :

- L'observation du mouvement permet au téléphone de saisir et de suivre sa localisation en relation avec le monde.
- Les capacités environnementales du téléphone lui permettent de reconnaître la dimension et la position de toutes sortes de surfaces : horizontales, verticales et inclinées comme le sol, une table basse ou des murs.

- L'évaluation de la luminosité aide le téléphone à déterminer les conditions d'éclairage présentes dans l'environnement.[24]



Figure I.17 - ARCore (Google)

**b. ARKit(Apple)**

ARKit 2 donne aux développeurs la possibilité de créer des applications pour la plateforme de réalité augmentée. ARKit fournit aux développeurs les instruments nécessaires pour concevoir des expériences de réalité augmentée qui révolutionnent la façon dont les utilisateurs iOS voient le monde, tant pour le divertissement que pour l'augmentation de la productivité comme illustré dans la figure 1.18. [25]



Figure I.18 - LEGO AR City utilise les fonctionnalités d'ARKit 2, notamment les expériences partagées, la réalité augmentée persistante et la détection d'objets 3D, pour donner vie aux créations et aux personnages LEGO. [25]

### c. Unity 3D

Unity 3D est un moteur de jeu 2D et 3D qui regroupe la gestion des images, des sons, de la physique, entre autres, et surtout facilite la création de jeux qui sont compatibles avec la majorité des appareils, voici la liste (voir la figure 1.19):

- Windows/Mac/Linux
- iOS/Android/Windows Phone 8
- PlayStation 3/4/Vita

Ce programme se manifeste en tant qu'IDE (environnement de développement intégré) avec une interface graphique, ainsi que comme éditeur de script compatible avec C# et Unity Script (une variante du Javascript).



Figure I.19 - Navigation en Réalité Augmentée avec Wikitude [28]

#### **d. ARFoundation**

Grâce à AR Foundation, il est possible de créer des applications de réalité augmentée (RA) multiplateformes en utilisant Unity. Ce framework offre une interface unifiée pour intégrer des fonctionnalités avancées telles que la détection de plans, le suivi de points, l'ancrage d'objets, l'estimation de la lumière, ainsi que le suivi des visages, des images et des objets. AR Foundation prend en charge plusieurs plateformes, dont ARCore pour Android, ARKit pour iOS, OpenXR pour les casques de RA comme Meta Quest, HoloLens pour les appareils Microsoft, et le plug-in visionOS XR pour Apple Vision Pro.

## **7. Conclusion**

La réalité augmentée est une technologie révolutionnaire qui redéfinit notre interaction avec le monde. de l'éducation au commerce, en passant par la santé et le divertissement, ses applications sont nombreuses et variées .avec les progrès constants des technologies matérielles et logicielles, la RA promet d'ouvrir de nouvelles perspectives, enrichissant les expériences humaines et transformant divers secteurs d'activité.

Chapitre **2**

---

## *La Navigation Intérieure*

## 1. Introduction

La technologie est l'une des plus grandes réalisations de l'imagination humaine. Dans le domaine de la localisation et de la navigation, le GPS (Global Positioning System) a marqué une avancée majeure au XXe siècle en permettant une localisation précise en extérieur grâce aux signaux satellites. Cependant, le GPS n'est pas efficace à l'intérieur des bâtiments, ce qui a conduit au développement du système de positionnement intérieur (IPS - Indoor Positioning System). Ce dernier ouvre un tout nouveau monde de navigation dans des environnements clos comme les gares, les centres commerciaux et les hôpitaux.

Le système IPS représente une solution innovante qui permet aux utilisateurs de se déplacer avec aisance et confiance à l'intérieur des structures complexes. En exploitant diverses technologies telles que le Wi-Fi, le Bluetooth et les capteurs, l'IPS fournit des informations de localisation en temps réel, améliorant ainsi l'expérience des utilisateurs dans des lieux souvent difficiles à naviguer.

De plus, l'intégration des techniques de navigation avec la réalité augmentée constitue une avancée significative pour améliorer l'expérience utilisateur. En fournissant des instructions visuelles interactives, cette combinaison facilite la navigation tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, rendant le déplacement plus fluide et intuitif.

## 2. La Définition de la navigation et ses types

La navigation désigne l'ensemble des techniques et opérations utilisées pour diriger et piloter un navire ou tout autre moyen de transport sur l'eau, en déterminant précisément la position, en planifiant l'itinéraire, en calculant les distances et les angles, et en utilisant des outils appropriés (tels que la boussole, le sextant et les cartes marines) pour garantir une traversée sûre et efficace.

Dans un contexte technologique plus moderne, le terme est également utilisé pour désigner le processus d'atteinte d'un point ou d'une destination spécifique à l'aide d'un téléphone mobile. Dans ce cadre, la navigation repose sur des systèmes de géolocalisation tels que le GPS, qui permettent aux utilisateurs d'afficher des cartes numériques et d'obtenir des instructions

détaillées pour rejoindre leur destination avec précision et efficacité.[17]

La navigation est une technologie qui permet de déterminer l'emplacement des appareils ou des personnes dans différents endroits. Il existe différents types de navigation, notamment :

- a. **La navigation extérieure (Navigation extérieure)** : c'est une technologie qui permet de déterminer l'emplacement des appareils ou des personnes à l'extérieur, comme dans les rues, les routes et les espaces ouverts.
- b. **La navigation intérieure (Navigation intérieure)** : c'est une technologie qui permet de déterminer l'emplacement des appareils ou des personnes à l'intérieur, comme dans les bâtiments, les magasins et les aéroports.
- c. **La géolocalisation (Géolocalisation)** : c'est une technologie qui permet de déterminer l'emplacement des appareils ou des personnes sur une carte, et est utilisée dans de nombreuses applications, comme la localisation des téléphones mobiles, des voitures et des personnes dans les lieux publics.

Ces trois types de navigation diffèrent dans la méthode de détermination de l'emplacement et dans leurs applications (comme illustré dans la figure 2.20).



Figure II.1 - La géolocalisation[18]

### **3. Système de positionnement intérieur (le lien entre la navigation extérieure et les environnements intérieurs) [19]**

La technologie est l'une des plus grandes réalisations de l'imagination humaine. Dans le domaine de la localisation et de la navigation, le GPS (Global Positioning System) a marqué une avancée majeure au XXe siècle en permettant une localisation précise en extérieur grâce aux signaux satellites.

Cependant, le GPS n'est pas efficace à l'intérieur des bâtiments, ce qui a conduit au développement du système de positionnement intérieur (IPS - Indoor Positioning System). Ce dernier ouvre un tout nouveau monde de navigation dans des environnements clos comme les gares, les centres commerciaux et les hôpitaux.

Le système IPS représente une solution innovante qui permet aux utilisateurs de se déplacer avec aisance et confiance à l'intérieur des structures complexes. En exploitant diverses technologies telles que le Wi-Fi, le Bluetooth et les capteurs, l'IPS fournit des informations de localisation en temps réel, améliorant ainsi l'expérience des utilisateurs dans des lieux souvent difficiles à naviguer.

### **4. Concept le système de positionnement intérieur (IPS)**

Le positionnement intérieur ou suivi de localisation en intérieur est un réseau de dispositifs permettant de localiser des personnes ou des objets dans des espaces clos où les signaux GPS ne sont pas assez puissants. Tout comme le GPS aide les gens à se repérer en extérieur, l'IPS remplit cette fonction en intérieur via des appareils mobiles comme les smart phones et les tablettes (voir la figure 2.21).

L'IPS est particulièrement utile pour améliorer l'expérience de localisation en intérieur. Étant donné que plus de 70 % du temps des individus est passé à l'intérieur, la demande en services de positionnement intérieur est en forte croissance, ouvrant ainsi un marché important pour les fournisseurs de technologie IPS.



Figure II.2 - Présentation des technologies de navigation intérieure [19]

## 5. Nécessité de la géolocalisation intérieure

### 5 .1. Limites du GPS en intérieur

Le succès du GPS a révolutionné notre manière d'interagir avec la technologie. Cependant, ses performances sont optimales uniquement en extérieur. En intérieur, les signaux satellites sont affaiblis par les obstacles physiques (murs, plafonds, etc.), ce qui entraîne une dégradation de la précision du positionnement. En extérieur, le GPS peut atteindre une précision de 5 à 10 mètres, tandis qu'en intérieur, les interférences rendent son utilisation peu fiable.

## 5.2. L'importance d'un positionnement précis en intérieur

Les applications de positionnement précis se sont multipliées ces dernières années, rendant les solutions IPS indispensables. Ces technologies sont aujourd’hui exploitées dans divers secteurs, notamment le commerce, la santé, l’armée et la gestion des stocks en entrepôt ,(Voir la figure numéro 2.22) :

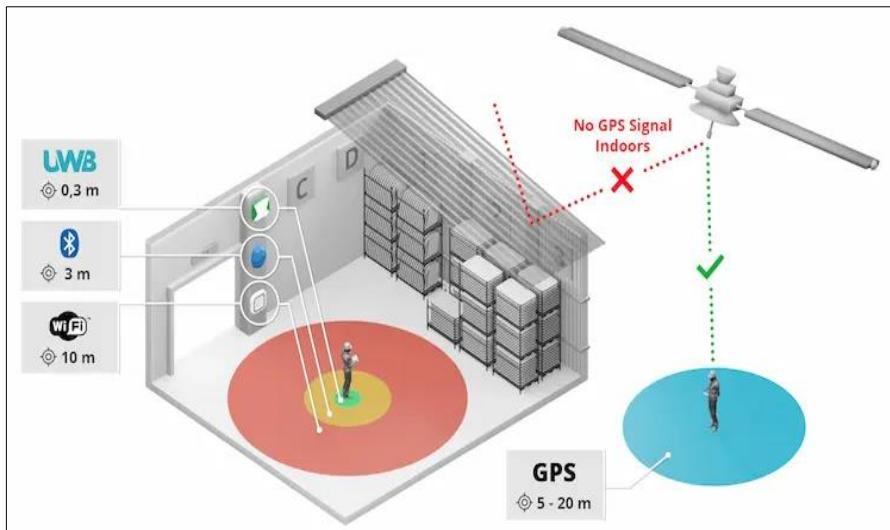


Figure II.3 - Image illustrant comment nécessité de la géolocalisation intérieure

## 6. Fonctionnement des systèmes de navigation intérieure

L’IPS fonctionne sur un principe similaire au GPS. À l'aide de balises fixes (ancres) et de capteurs mobiles (étiquettes), il estime la position des objets ou des personnes à partir des signaux collectés. Les ancrements captent les signaux des étiquettes, transmettent ces données à un serveur qui calcule ensuite la position de l'objet suivi en temps réel. (voir la figure 2.23).

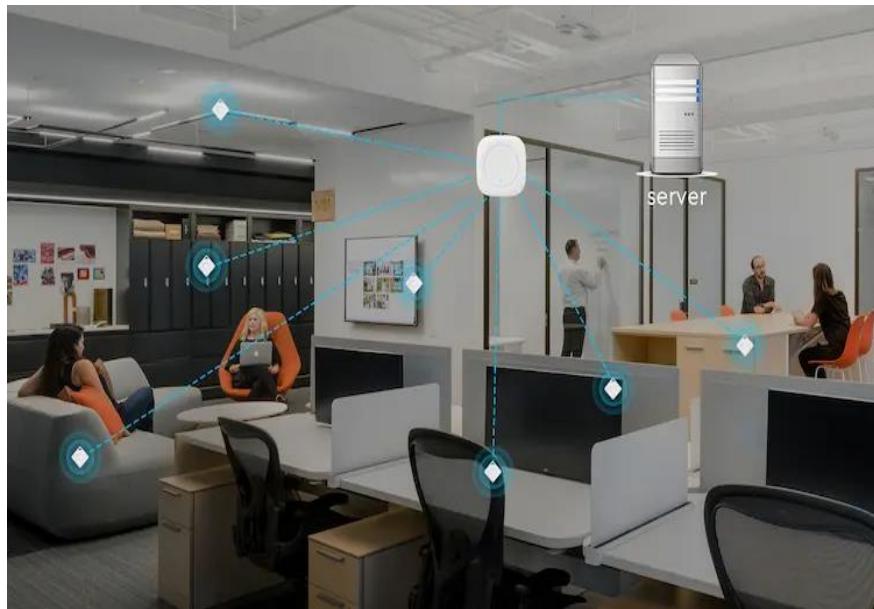


Figure II.4 - Image illustrant comment cela fonctionne des systèmes de navigation intérieure

## 7. Les Technologies utilisées pour la navigation intérieure

Contrairement au GPS basé sur les satellites, l'IPS utilise différentes technologies adaptées aux environnements intérieurs. Ces technologies se divisent en plusieurs catégories en fonction du type de signal utilisé, comme illustré dans la figure 2.24 :

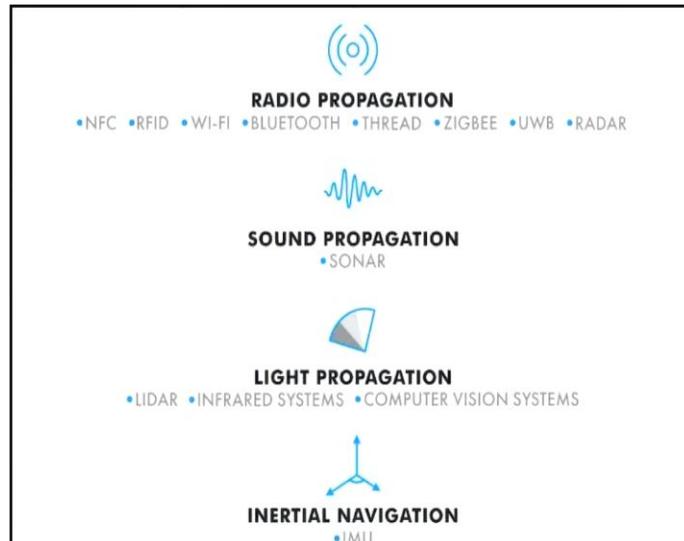


Figure II.5 - Types de signaux utilisés dans la navigation intérieure.

## 7.1 IPS basé sur les signaux radio

Les technologies radio, comme illustré dans la figure 2.25, sont les plus couramment utilisées car elles peuvent traverser divers matériaux courants dans les bâtiments. Parmi elles :

- Wi-Fi
- Bluetooth (balises BLE - Bluetooth Low Energy)
- Zigbee
- RFID (Radio Frequency Identification)
- UWB (Ultra Wideband)
- Radar
- SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

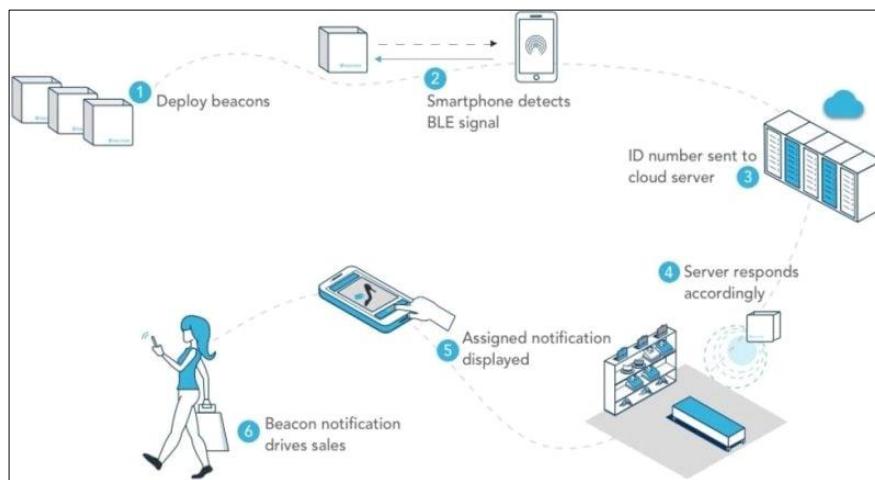


Figure II.6 - Bluetooth-Beacon-usages[20]

## 7.2. IPS basé sur les signaux lumineux

Les signaux lumineux appartiennent également au spectre électromagnétique mais fonctionnent différemment des ondes radio. Parmi les solutions utilisant ces signaux :

- Infra-rouge
- VLC (Visible Light Communication)
- LIDAR (Light Detection and Ranging)

### 7.3. IPS basé sur les signaux acoustiques

Les signaux acoustiques sont constitués d'ondes de pression qui se propagent dans l'air. Étant donné que la vitesse du son est beaucoup plus faible que celle des ondes électromagnétiques, ces systèmes sont souvent très précis. Ils comprennent :

- Ultrasons
- Sons audibles

### 7.4. IPS basé sur le champ magnétique

Certains systèmes IPS utilisent les variations du champ magnétique terrestre pour estimer la position. Cette technologie repose sur des **magnétomètres** permettant de cartographier l'environnement intérieur sans nécessiter d'infrastructure supplémentaire.

## 8. Suivi de la localisation des appareils mobiles

Suivi de la localisation des appareils mobiles désigne le suivi en temps réel ou différé de la position des smart phones et tablettes via des technologies comme le GPS, le Wi-Fi et les réseaux mobiles. Cette fonctionnalité est utilisée dans divers domaines, notamment les applications de navigation, de sécurité, de logistique et de services personnalisés. Cependant, elle soulève des enjeux de confidentialité et de protection des données, nécessitant des réglementations strictes pour garantir le respect de la vie privée des utilisateurs.

## 9. Applications et cas d'usage des technologies de navigation intérieure

Les systèmes IPS sont de plus en plus présents dans divers secteurs où la localisation intérieure est essentielle. Voici quelques exemples d'applications concrètes :

### 9.1. Aéroports et gares

Les grandes infrastructures de transport comme les aéroports et les gares bénéficient énormément des technologies IPS. Ces systèmes permettent aux voyageurs de se repérer

facilement et d'accéder aux informations de navigation en temps réel.

### **9.2. Industrie et fabrication**

Dans le secteur industriel, l'IPS contribue à l'amélioration de la sécurité des travailleurs, à la réduction des coûts et à l'optimisation logistique. Dans les grandes usines, il aide à suivre les actifs, la logistique et la gestion des urgences.

### **9.3. Centres commerciaux**

L'IPS améliore l'expérience des consommateurs et permet aux commerçants de mener des campagnes marketing basées sur la localisation. Grâce à ces technologies, les visiteurs peuvent facilement trouver des magasins spécifiques et recevoir des promotions ciblées.

### **9.4. Hôpitaux**

Les hôpitaux ont toujours eu des difficultés liées à l'orientation des patients et visiteurs. L'IPS peut améliorer la navigation dans ces bâtiments complexes et aider le personnel médical à retrouver rapidement du matériel médical ou localiser des patients en cas d'urgence.

### **9.5. Parkings à plusieurs étages**

Les parkings souterrains et à plusieurs étages ne disposent généralement pas de signal GPS. Un système de stationnement intelligent basé sur l'IPS peut aider à localiser les places disponibles et guider les conducteurs vers leur véhicule, (voir la figure 2.26).



Figure II.7 -Une image montrant les cas d'utilisation courants du IPS

## 10. Différence entre IPS et GPS

Il est fréquent de confondre IPS et GPS, car leurs fonctions sont similaires. Toutefois, l'IPS est spécifiquement conçu pour les environnements intérieurs, tandis que le GPS est principalement utilisé en extérieur.

Le GPS repose sur des signaux satellites et nécessite une connexion avec au moins trois satellites pour fonctionner. En revanche, l'IPS utilise, comme illustré dans la figure 2.2, diverses technologies pour assurer un positionnement précis en intérieur, comme les ondes radio, les signaux lumineux, le son et les champs magnétiques.

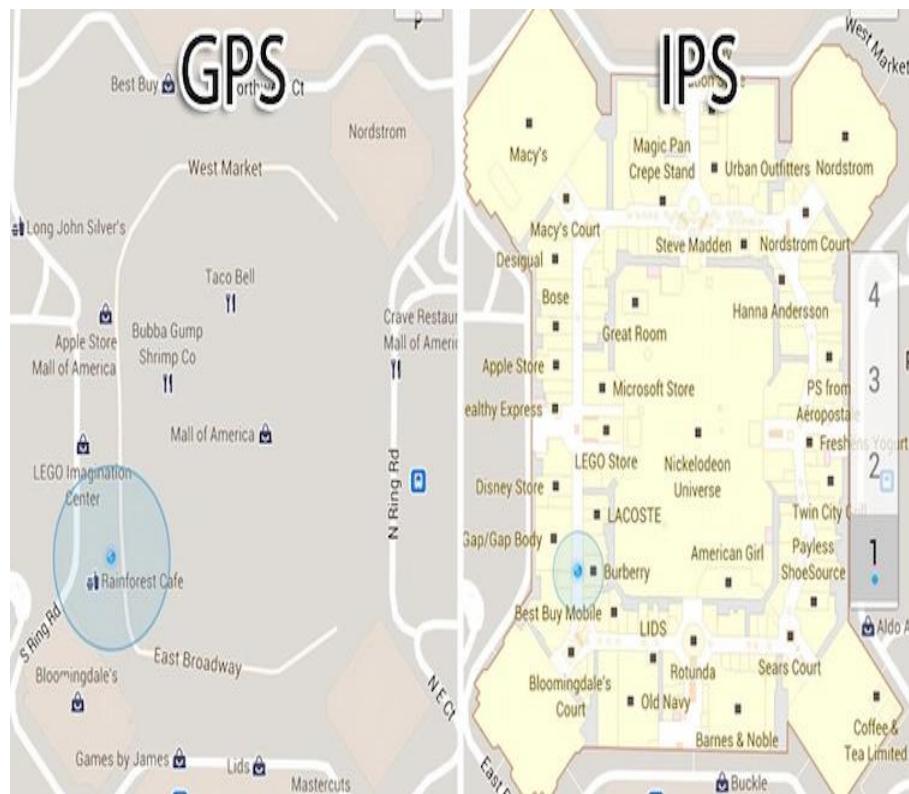


Figure II.8 -Une image illustrant comment IPS et GPS diffèrent

## 11. Navigation intérieure vs géolocalisation intérieure

La navigation intérieure et la géolocalisation intérieure sont deux concepts distincts mais complémentaires.

- La géolocalisation intérieure permet aux utilisateurs de connaître leur position exacte dans un bâtiment.
- La navigation intérieure va plus loin en proposant un itinéraire jusqu'à une destination spécifique.

Un bon système de navigation intérieure combine technologie de géolocalisation et guidage interactif pour offrir une expérience utilisateur optimale.

## 12. Différences entre les technologies de navigation intérieure

Type de navigation	Principe	Outils utilisés	Précision	Applications	Avantages	Inconvénients
Bluetooth (BLE)	Transmission de signaux BLE	Balises BLE, smartphones	1-5 m	Musées, magasins, aéroports	Faible coût, installation simple	Précision moyenne
GPS indoor	GPS assisté ou modifié	Satellites, Wi-Fi, UWB	5-15 m	Aéroports, hôpitaux	Compatible avec de nombreux appareils	Infrastructure coûteuse
Wi-Fi	Analyse de la puissance du signal	Points d'accès Wi-Fi	5-10 m	Centres commerciaux, hôtels	Facile à intégrer, pas d'équipement supplémentaire nécessaire	Moins précis que d'autres solutions
UWB	Transmission de signaux à large bande	Capteurs UWB	<30 cm	Usines, hôpitaux	Précision élevée, suivi en temps réel	Coût élevé
RFID	Identification par radiofréquence	Tags RFID, lecteurs RFID	Variable	Logistique, gestion de stocks	Pas besoin d'alimentation active pour les tags passifs	Portée limitée
Li-Fi	Transmission de données par la lumière	Lampes LED, récepteurs Li-Fi	Centimétrique	Bureaux, espaces clos	Haute précision, transfert rapide	Dépendance à la lumière
Magnétique	Analyse du champ magnétique terrestre	Capteurs de champ magnétique	1-2 m	Navigation sur smartphone	Aucune infrastructure nécessaire	Moins répandue
SLAM	Cartographie Et Localisation Simultanées	Caméras, capteurs IMU, ARCore/ ARKit	<50 cm	Navigation RA en Intérieur	Très précis, ne nécessite pas d'infrastructure	Sensible aux Conditions De l'environnement

Table 2.1 - Tableau comparatif des différentes techniques de navigation

## 13. L'importance de la navigation interne [21]

Le système de navigation intérieure a été conçu très rapidement, ce qui a incité de nombreuses entreprises à investir dans cette technologie en raison de ses fonctionnalités puissantes. Cela se concentre principalement sur deux parties :

### 13.1. Améliorer l'expérience utilisateur :

Ce système aide les utilisateurs à naviguer dans des environnements intérieurs complexes tels que les centres commerciaux, les aéroports, les hôpitaux et les grands immeubles de bureaux, améliorant ainsi leur expérience et leur satisfaction globales.

Gagnez du temps en fournissant les itinéraires les plus efficaces pour atteindre la destination. Comme les hôpitaux,

La navigation au sein de l'établissement peut aider les patients à s'orienter dans différents services et à réduire les rendez-vous manqués.

### 13.2. Bon pour les affaires :

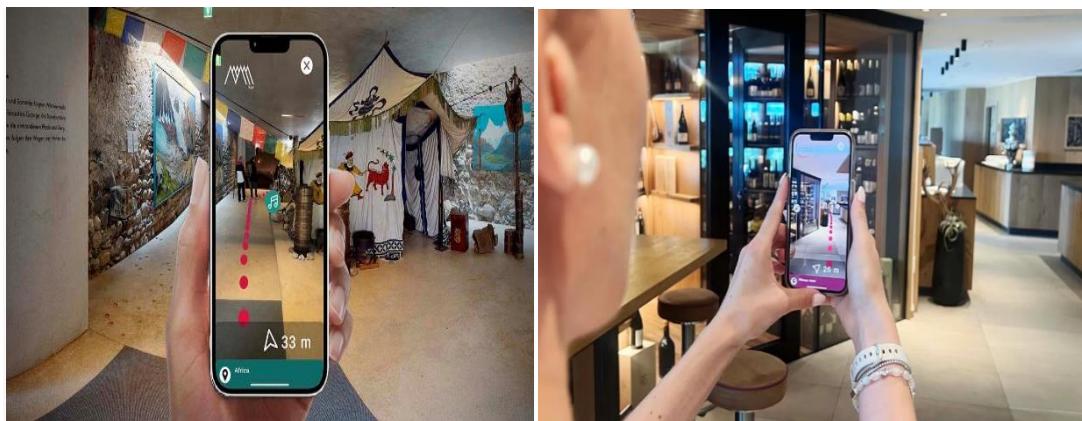
Contrairement à la navigation extérieure, la navigation intérieure n'est pas largement disponible. Plus de dix millions de personnes utilisent la fonction de navigation.

Si les entreprises proposent le même service dans les zones intérieures, il y aura un énorme argument de vente et une énorme opportunité potentielle pour ces entreprises. Les entreprises peuvent collecter des informations sur les habitudes de marche, qui peuvent être utilisées pour améliorer les conceptions,

Améliorez les services et ciblez plus précisément les campagnes publicitaires. Similaires aux magasins et aux centres commerciaux, des promotions et des publicités basées sur la localisation peuvent être présentées aux utilisateurs pour améliorer l'engagement des clients et augmenter les ventes potentielles.

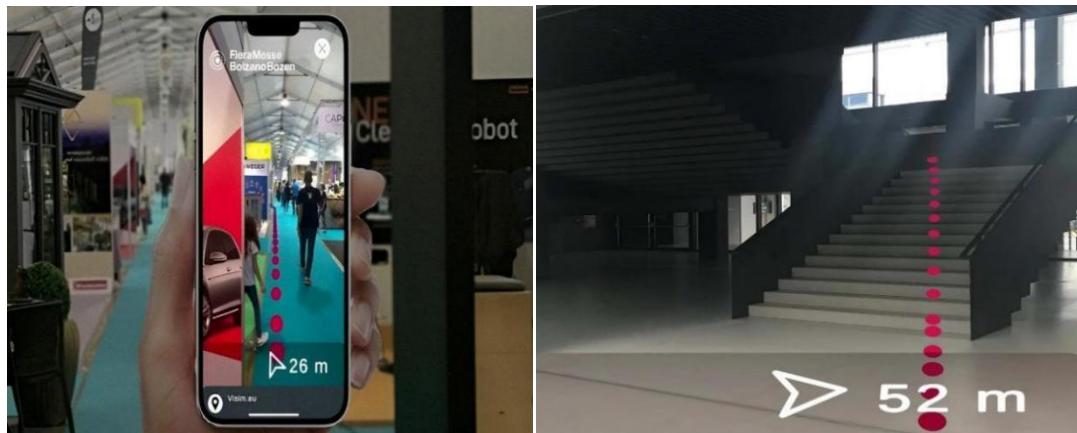
## 14. Utilisation de la réalité augmentée dans la navigation intérieure [23]

- a. **Expérience intuitive** : la réalité augmentée propose une méthode plus instinctive de navigation. Plutôt que de déchiffrer une carte en deux dimensions, les utilisateurs peuvent se baser sur des signaux visuels présents dans leur environnement (voir la figure 2.28)
- b. **Contexte enrichi** : les usagers ont la possibilité de visualiser les itinéraires en fonction de leur environnement, facilitant ainsi la compréhension de leur destination.
- c. **Engagement** : la réalité augmentée est capable de rendre l'exploration plus séduisante et divertissante, spécialement pour les visiteurs découvrant de nouveaux lieux.



(a) Musées [24]

(b) Hôtellerie



(c) Foires et Salons

(d) Bâtiments [25]

Figure II.9 - Utilisation de la réalité augmentée dans la navigation intérieure.

## 15. Applications existantes de navigation intérieure en RA

L'émergence des applications de navigation interne utilisant la réalité augmentée (RA) a conduit au développement des technologies modernes et à la nécessité croissante de solutions nouvelles et innovantes pour naviguer dans les grands bâtiments tels que les aéroports, les universités et les hôtels. Grandes entreprises. Hôpitaux, centres commerciaux. Toutes ces applications. Il a commencé à émerger avec le développement des technologies de positionnement tandis que la prolifération généralisée des smart phones avec capteurs et les technologies de réalité augmentée ont facilité l'utilisation de ces applications dans la vie quotidienne.

Nous allons passer en revue les applications actuelles les plus importantes dans ce domaine :

Des applications	Google Maps (Indoor)[30]	IndoorAtlas[31]
Description	<ul style="list-style-type: none"><li>- Il offre des cartes internes précises de lieux tels que les aéroports et les centres commerciaux, avec une option de mouvement interne.</li><li>- Cela comprend les cartes internes, Positionnement en temps réel, et rechercher certains sites.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Technologie de direction interne innovante basée sur le champ magnétique terrestre et les capteurs des smart phones. Cette technologie est utilisée pour fournir des cartes précises et des conseils aux utilisateurs dans les bâtiments fermés tels que les centres commerciaux et les aéroports.</li><li>- Il localise précisément l'utilisateur dans des espaces clos en utilisant le champ magnétique naturel.</li><li>- Créer des cartes précises des environnements intérieurs. Guider les utilisateurs à l'intérieur des installations avec un guidage précis.</li></ul>
Systèmes utilisés pour le développement	Machine learning, Google API.	Machine learning, IndoorAtlas SDK.
Systèmes utilisés pour la navigation	GPS, Wi-Fi, Bluetooth, localisation intérieure.	GPS, capteurs magétiques

Année de lancement	2011	2012
<b>Avantages</b>	Interface conviviale. Grandement apprécié pour son adaptabilité et sa fiabilité.	Précision élevée dans des environnements complexes. - Il est reconnu pour sa précision et ses compétences novatrices. La technologie nécessite des connaissances et une expertise pour s'assurer qu'elle est correctement préparée ou intégrée à d'autres systèmes.
<b>Inconvénients</b>	- Précision parfois limitée en intérieur, dépendance à une connexion Internet. - Peut être imprécis dans certains contextes.. - Moins exact dans certains contextes complexes.	Comprend la préparation technique initiale, telle que l'installation du système, le réglage des paramètres et la connexion matérielle pour s'assurer que le service fonctionne correctement.
<b>Tarification</b>	Gratuit	Payant
<b>Compatibilité</b>	Android, iPhone	Android, iPhone
<b>Catégorie ciblée</b>	L'ensemble des utilisateurs (individus et sociétés).	Ciblant les personnes qui ont des responsabilités ou sont compétentes pour améliorer ou gérer les espaces intérieurs.
<b>Matériel requis</b>	Smartphone avec accès GPS et connexion Internet.	Smartphone avec capteurs magnétiques( Un outil qui mesure l'intensité du champ magnétique est utilisé dans les téléphones intelligents pour identifier des directions (comme la boussole).
<b>Application</b>	<b>Pointr [32]</b>	<b>NavVis [33]</b>
<b>Description</b>	Un dispositif qui oriente les individus dans d'immenses espaces tels que les aéroports et les hôpitaux grâce à l'usage de la réalité augmentée. Système de guidage interne pour les hôtels, musées et centres commerciaux.	-Une solution de guidage interne innovante qui offre des cartes 3D précises et détaillées d'espaces clos tels que les centres commerciaux et les aéroports. - Comprend des fonctions de direction instantanée (caractéristiques ou capacités qui aident les utilisateurs à se déplacer facilement dans les espaces intérieurs) et la gestion du trafic des visiteurs pour améliorer l'expérience des utilisateurs sur ces sites.
<b>Systèmes utilisés pour le développement</b>	Unity 3D, AR, GPS, Beacons	NavVis SDK, technologies 3D

<b>Systèmes utilisés pour la navigation</b>	Bluetooth, Wi-Fi	Wi-Fi, SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)
<b>Année de Lancements</b>	2014	2013
<b>Avantages</b>	Fournit des solutions sur mesure pour les entreprises à haute résolution, fonctionnant efficacement même dans des endroits difficiles et complexes, avec la possibilité de modifier et d'adapter les solutions aux besoins de chaque entreprise.	Haute précision grâce aux cartes 3D.
<b>Inconvénient s</b>	Dépendance à l'égard des balises (Beacons), coûts importants liés à la mise en place initiale.	Le coût élevé de l'application du système complet comprend la préparation, l'installation et l'intégration de la technologie.
<b>Tarification</b>	Les entreprises commerciales (B2B) se procurent des produits ou services auprès d'autres sociétés, et non auprès de particuliers, et ces services ne sont pas offerts gratuitement.	Payant. (Coût ajusté selon les exigences de l'utilisateur).
<b>Compatibilité</b>	Android, iPhone	Android, iPhone
<b>Catégorie ciblée</b>	L'ensemble des utilisateurs (individus et sociétés).	Ciblant les personnes qui ont des responsabilités ou sont compétentes pour améliorer ou gérer les espaces intérieurs.
<b>Matériel requis</b>	Smartphone avec Bluetooth.	Scanners 3D, smartphone avec Wi-Fi.
<b>Application</b>	<b>Beaconstac Indoor Navigation [34]</b>	
<b>Description</b>	Il fournit une orientation interne précise grâce à l'utilisation de techniques de réalité augmentée et Bluetooth, avec un support étape par étape et des alertes (notifications ou messages adressés à l'utilisateur lorsqu'il est près d'un endroit particulier dans l'espace intérieur) en fonction de la localisation environnante.	Offre la possibilité de créer des cartes internes interactives qui prennent en charge la technologie de réalité augmentée, dans le but d'améliorer l'expérience de navigation.
<b>Wemap [35]</b>		

<b>Systèmes utilisés pour le développement</b>	Beaconstac SDK.(C'est un kit de développement logiciel (SDK) qui facilite l'intégration des balises Bluetooth par les développeurs dans leurs applications. Il sert à concevoir des applications basées sur le site, telles que des instructions internes ou des alertes).	Technologie Wemap, GPS, Smartphone senso
<b>Systèmes utilisés pour la navigation</b>	Balises Bluetooth(De petits dispositifs utilisant la technologie Bluetooth à faible énergie (BLE) pour localiser des objets à l'intérieur ou transmettre des notifications aux appareils environnants.	GPS, capteurs du smartphone
<b>Année de lancement</b>	2016	2017
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Offrir une grande précision en termes de performance ou de positionnement.</li> <li>- Assure une exécution précise et garantie des résultats.</li> <li>- Facile à appliquer ou à installer.</li> <li>- Précis et d'une utilisation aisée.</li> <li>La plateforme elle-même est facile à utiliser.</li> <li>- La plateforme offre un large éventail de fonctionnalités, y compris la création, la conception, la gestion et l'analyse des codes QR, permettant ainsi de satisfaire différents objectifs marketing.</li> <li>- Dépense pour les petites entreprises</li> </ul>	<p>Positifs pour sa précision dans les bâtiments complexes.</p> <p>Facile à intégrer aux applications de mobile et web.</p>
<b>Inconvénients</b>	Les coûts d'installation des balises Bluetooth sont élevés pour la mise en œuvre précise de la technologie de positionnement interne.	Il dépend fortement de la précision du dispositif utilisé tel que le GPS et Gyroscop.
<b>Tarification</b>	Payant (devis personnalisé).	Non spécifié
<b>Compatibilité</b>	Android, iPhone	Android
<b>Catégorie ciblée</b>	Lieux commerciaux, galeries marchandes, centres d'éducation.	Aéroports et gares, hopitaux, universités.
<b>Matériel requis</b>	Smartphone avec Bluetooth.	Smartphone avec GPS et caméra..

Table 2.2 - Applications existantes de navigation intérieure en RA

## 16. Études de cas sur les applications de réalité augmentée pour la navigation intérieure

### a. Hôpitaux : Étude de cas du Cedars-Sinai Medical Center (États-Unis) [37]

- **Nom du projet :** Application Cedars-Sinai pour la navigation intérieure.
- **But du projet :** Cette mise à jour s'inscrit dans le projet global d'orientation du centre médical, qui a pour but de faciliter la navigation sur le campus pour les patients et les visiteurs. comme illustré dans la figure 2.29 :

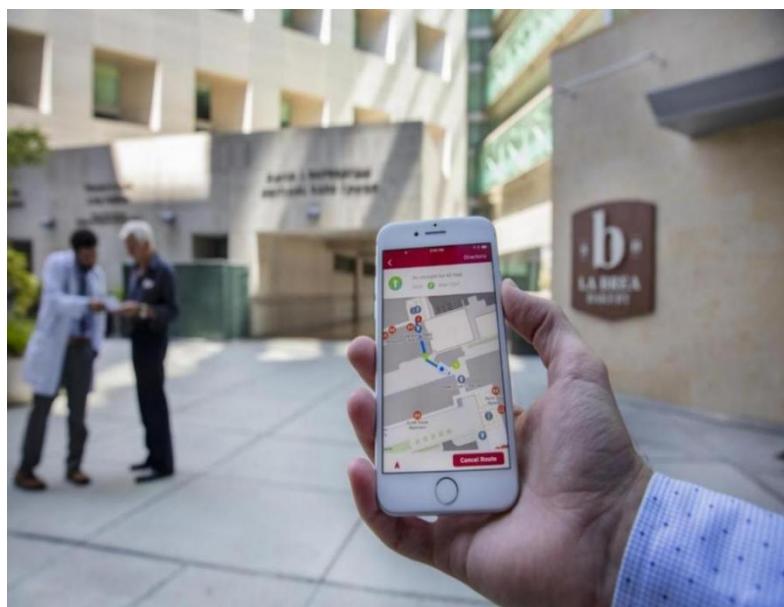


Figure II.10 -Hôpital Cedars-Sinai lance un système de navigation en RA.

- **Outils et techniques utilisés :**
- **Balises de Bluetooth :**
  - Il est utilisé pour un positionnement de haute précision dans les bâtiments.
  - Aucune connexion WiFi requise.
- **Points forts :**
  - Réduction du stress : dans des endroits comme les hôpitaux, où la navigation est complexe et le stress est important, l'application contribue à améliorer l'expérience du visiteur ou du patient.
  - Facilité d'accès : les utilisateurs n'ont pas besoin d'utiliser d'appareils physiques supplémentaires (tels que des cartes imprimées ou des panneaux), mais peuvent simplement utiliser leurs smartphones.

- **Limitations :**

- L'application dépend de la connexion Internet : Dans les endroits dépourvus de connexion Internet stable (Wi-Fi ou 4G), l'application peut ne pas exécuter correctement ses fonctions
- Les coûts associés à la mise en œuvre et à la maintenance d'une application basée sur la réalité augmentée peuvent être considérablement élevés.

- **Expérience utilisateur :**

- Facilité de conception : similaire à l'expérience Google Maps.
- Précision du guidage ,
- Exhaustivité de l'information : via la plateforme électronique et l'application.

**b. Étude de cas : Projet de RA Aéroport de Gatwick AR (United Kingdom : West Sussex)**

**[38]**

- **Nom du projet :** Aéroport de Gatwick AR Navigation.

- **But du projet :**

- L'objectif est d'améliorer l'expérience des passagers et de faciliter les déplacements à l'intérieur de l'aéroport en utilisant une technologie de pointe, en fournissant un guidage de navigation moderne et précis, dans le but de fournir une expérience confortable.
- Il fournit également une assistance aux passagers pour éviter les retards grâce à des alertes instantanées, Voir la figure numéro 2.30.

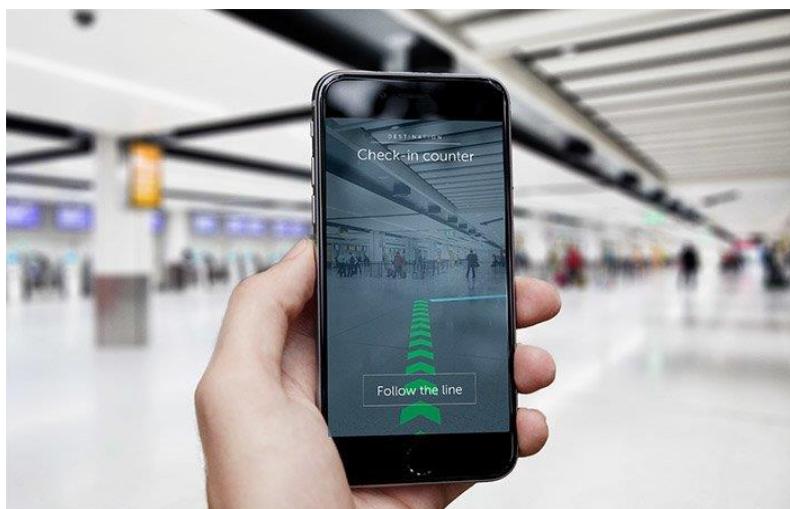


Figure II.11 - L'aéroport de Gatwick lance un système de navigation en réalité augmentée

- **Outils et Techniques utilisés :**

- **Techniques utilisées:**

- 2 000 balises mises en place dans les dispositifs.

- **Balises de Bluetooth :**

- 2 000 balises mises en place dans les terminaux.(place).
- Fonctionnant sur batterie pour minimiser les coûts et la complexité de la logistique.
- gère le système pour un suivi précis, connu sous le nom de « Blue Dot Service ».

- **Réalité augmentée :**

- Employée pour orienter visuellement les voyageurs vers leurs lieux de destination. Comme le montre la figure 2.31 ci-dessous :



Figure II.12 -L'aéroport de Gatwick en navigation de la RA. [39]

- **Points forts :**

- Système de navigation amélioré.
- Rapidité d'exécution.
- Réduisez la congestion grâce aux données de concentration de passagers.

- **Limitations :**

- Pas de collecte d'informations personnelles pour garantir la confidentialité, cependant cela pourrait restreindre les options de personnalisation en fonction des préférences des utilisateurs.
- Nécessité de recourir à des applications externes pour l'implémentation totale du service.

## 17. Conclusion

Cette étude a mis en évidence l'importance de la navigation intérieure et le besoin croissant de solutions technologiques innovantes facilitant la navigation dans des espaces clos tels que les hôpitaux, les universités, les aéroports et les centres commerciaux. Il a été constaté que les solutions actuelles, malgré leurs avancées, présentent encore certaines limites, notamment en termes de précision, d'évolutivité et d'adaptabilité à l'environnement local.

Sur la base de ce constat, notre projet consistait à développer une application de réalité augmentée offrant une expérience de navigation intérieure interactive, précise et conviviale, adaptée aux besoins des utilisateurs algériens. Cette application va au-delà du simple guidage routier ; elle offre également une expérience visuelle immersive permettant aux utilisateurs de naviguer de manière fluide et efficace dans des bâtiments vastes et complexes.

## *Conception*

## 1. Introduction

La phase de conception dans un projet informatique revêt une importance capitale, car elle permet de définir avec précision les fonctionnalités attendues, d'organiser l'application et d'anticiper les défis techniques. Dans ce chapitre, nous allons présenter la conception de notre système de navigation intérieure en réalité augmentée (RA), en décrivant tout d'abord les étapes de réalisation d'un tel système, puis en détaillant sa conception générale, avant d'aborder sa conception détaillée.

## 2. Problème et Objectif

Les universités ont souvent de grands campus avec de nombreux bâtiments, ce qui rend la navigation difficile pour les nouveaux étudiants et les visiteurs. Pour résoudre ce problème, une application de navigation mobile (RA) peut servir à simplifier l'orientation sur le campus, aidant étudiants et visiteurs à repérer plus aisément les différents lieux tels que les bâtiments, salles de cours, bureaux administratifs ou services particuliers.

L'objectif de notre projet est donc de développer une application mobile en réalité augmentée (RA) permettant aux utilisateurs de naviguer facilement dans le campus de l'université de Biskra. Grâce à la RA, l'application affichera des flèches, des indications, des informations de direction, et des audios directement superposés à l'environnement réel, facilitant ainsi l'orientation intérieure.

## 3. Analyse des Besoins

Dans cette phase nous identifions les fonctionnalités essentielles que notre application doit offrir ainsi que les contraintes et exigences non fonctionnelles.

### 3.1. Besoins Fonctionnels

- **Navigation intérieure en RA**
  - Affichage d'indications visuelles en RA (flèches, chemins, informations contextuelles) superposées sur l'écran du dispositif mobile.
  - Système de localisation basé sur la géolocalisation intérieure.
- **Plan interactif du bâtiment**

- Affichage dynamique du plan du bâtiment à différentes échelles.
- Zoom sur des zones spécifiques (salles, étages).
- **Indications contextuelles :**
  - Lorsqu'un utilisateur oriente son smartphone vers un bâtiment, il reçoit :
  - Informations sur les lieux à proximité (salles de réunion, salles de conférences etc.).
  - Les services disponibles dans le bâtiment.
- **Recherche de lieux :**
  - Trouver rapidement un bâtiment ou une salle grâce à un moteur de recherche intégré.
- **Intégration des événements académiques :**
  - Affichage de notifications en fonction de la localisation (conférences, etc.)

Ces fonctionnalités permettent d'assurer une navigation fluide, interactive et accessible pour les étudiants et visiteurs du campus.

#### **3.2. Besoins Non Fonctionnels**

Les besoins non fonctionnels concernent la performance et l'expérience utilisateur.

- **Performance et rapidité :**
  - L'application doit être réactive et afficher les éléments de RA en moins d'une seconde après détection d'un marqueur.
  - L'algorithme de navigation doit calculer un itinéraire optimisé en temps réel.
- **Compatibilité et accessibilité :**
  - L'application doit être disponible sur Android et iOS.
  - Elle doit fonctionner sans connexion internet après le premier téléchargement des cartes.
- **Ergonomie et design :**
  - Interface intuitive et adaptée à une utilisation en extérieur.
  - Intégration d'éléments visuels clairs et compréhensibles

### **4. Étapes de Réalisation d'un Système de Navigation en RA**

#### **4.1. Collecte et Préparation des Données :**

- Cartographie du campus universitaire en identifiant les points d'intérêt.
- Création d'une base de données contenant les coordonnées GPS des lieux clés.

#### **4.2. Développement de l'application:**

- **Choix des outils et technologies :**

- Utilisation de **ARKit (iOS)** et **ARCore (Android)** pour l'affichage de la RA.

- Intégration d'un moteur de navigation (Google Maps API, OpenStreetMap).
- Base de données cloud (Firebase) pour stocker les informations des bâtiments.
- **Développement des fonctionnalités principales :**
  - Système de détection des marqueurs visuels pour afficher les informations contextuelles.
  - Algorithme de calcul d'itinéraire basé sur la position GPS de l'utilisateur.
  - Intégration d'un mode hors ligne pour afficher des plans sans connexion internet.

#### **4.3. Tests et optimisation:**

- Phase de test en conditions réelles sur le campus.
- Optimisation du rendu RA pour une meilleure fluidité et un affichage rapide.
- Ajustement des itinéraires pour éviter les obstacles et améliorer la précision.

#### **4.4. Déploiement et maintenance:**

- Publication de l'application sur les stores mobiles.
- Mise en place d'un suivi des performances et collecte des retours des utilisateurs.
- Mises à jour régulières pour intégrer de nouveaux bâtiments ou fonctionnalités.

## **5. Conception de l'Interface Utilisateur**

L'interface de l'application doit être fluide et intuitive.

- **Principaux éléments UI/UX :**
  - **Page d'accueil :** Accès rapide à la navigation et aux options.
  - **Recherche de destination :** Moteur de recherche et liste des lieux récents.
  - **Affichage en RA :** Visualisation en temps réel des itinéraires avec des flèches 3D.
  - **Informations contextuelles :** Fenêtres pop-up affichant les détails des lieux.
  - **Mode accessibilité :** Option de guidage vocal.

## 6. Conception Technique

### 6.1. Conception Générale :

L'application se compose des modules suivants :

- **Module utilisateur** : Permet l'identification et la gestion des préférences.
- **Module de navigation** : Gère la localisation GPS et l'itinéraire en RA.
- **Base de données** : Stocke les informations des bâtiments et des services universitaires.
- **Module d'affichage RA** : Gère le rendu des éléments augmentés et leur superposition à la caméra.

### 6.2. Conception d'étaillée :

Pour concevoir notre application, nous avons besoin de trois diagrammes UML : le diagramme de cas d'utilisation, le diagramme de Class et le diagramme de séquence. Ces diagrammes nous aident à visualiser et planifier les fonctionnalités et les interactions de notre application de manière claire et concise.

#### 6.2.1. Diagramme de cas d'utilisation :

Le diagramme de cas d'utilisation est un type fondamental de diagramme UML. Il permet de représenter les fonctionnalités principales du système du point de vue des utilisateurs (acteurs). Il met en évidence les différentes interactions possibles entre les utilisateurs et le système sans entrer dans les détails techniques.

Dans notre application de navigation intérieure en réalité augmentée (RA), le diagramme de cas d'utilisation illustre deux types d'acteurs principaux :

- **Utilisateur** : une personne utilisant l'application pour se localiser et être guidée vers un lieu cible.
  - **Administrateur** : responsable de la gestion des données et de la configuration de l'application.
- **Principaux cas d'utilisation de l'utilisateur :**
- **Se connecter à l'application** : même si aucune authentification explicite n'est requise, ce cas peut représenter le démarrage de l'application.

- **Activer la navigation intérieure** : permet de déclencher le système de guidage en RA.
- **Personnaliser l'interface de l'application** : permet à l'utilisateur de modifier l'apparence ou les préférences de navigation.
- **Suivre un itinéraire** à l'aide des indications en RA (flèches, directions).
- **Rechercher un lieu** : l'utilisateur peut choisir une destination à atteindre.
- **Consulter des infos** : permet d'obtenir des détails supplémentaires sur le chemin ou les lieux d'intérêt.
- **Principaux cas d'utilisation de l'administrateur :**
  - **Ajouter/modifier des points d'intérêt** : pour tenir à jour les destinations disponibles dans l'application.
  - **Mettre à jour la carte** : en cas de modifications physiques dans l'environnement (nouvelles salles, modifications d'accès...).
  - **Gérer utilisateurs et permissions** : (applicable dans les versions futures de l'application).
  - **Configurer des alertes géolocalisées** : par exemple, pour afficher des messages contextuels selon la position.

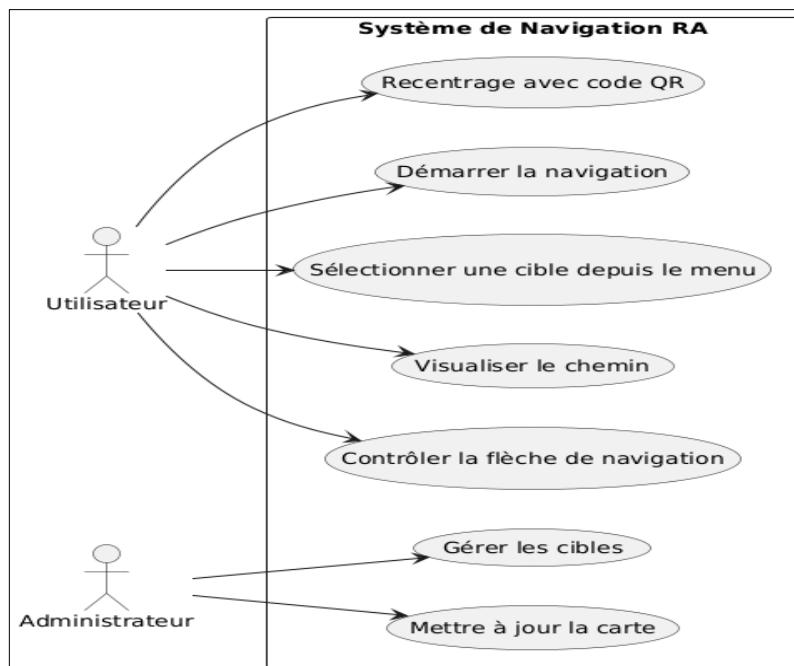


Figure III.1 - Diagramme des cas d'utilisation

- **Les acteurs du système :**

1. **Utilisateur :**

L'utilisateur représente toute personne utilisant l'application pour se diriger vers une destination à l'intérieur du campus. Il peut effectuer les actions suivantes :

- **Recentrage avec code QR** : permet à l'utilisateur de scanner un code QR afin de définir précisément son point de départ dans l'environnement réel.
- **Démarrer la navigation** : déclenche le processus de navigation après la sélection d'une cible.
- **Sélectionner une cible depuis le menu** : permet de choisir une destination spécifique (par exemple : bibliothèque, administration, amphithéâtre...).
- **Visualiser le chemin** : affiche, en réalité augmentée, le chemin calculé sous forme d'indications visuelles (flèches).
- **Contrôler la flèche de navigation** : suivre la flèche directionnelle et s'assurer qu'elle indique la bonne orientation selon la position actuelle.

2. **Administrateur :**

L'administrateur est responsable de la gestion des données internes à l'application. Il dispose de deux fonctionnalités spécifiques :

- **Gérer les cibles** : ajouter, modifier ou supprimer des destinations dans la base de données.
- **Mettre à jour la carte** : actualiser la carte du bâtiment ou du campus pour qu'elle corresponde à la réalité physique.

#### **6.2.2. Diagramme de Classes :**

Les diagrammes de classes sont l'un des types de diagrammes UML les plus utiles, car ils décrivent clairement la structure d'un système particulier en modélisant ses classes, ses attributs, ses opérations et les relations entre ses objets.

Le diagramme de classes définit les principales classes du système et leurs relations, comme illustré dans la figure III.2, Voici quelques exemples :



Figure III.2 - Description des classes principales du système.

## • Description des classes principales du système

### 1. Contrôleur Navigation

Cette classe est le cœur du système de navigation.

Elle contient :

- Les données relatives à la position de la cible et au chemin calculé (Chemin Maillage).
- Des composants audio pour signaler les virages (son Tourner Gauche, son Tourner Droite).
- Une méthode démarrée (pour initialiser la navigation).
- Une méthode mettre Ajour (pour recalculer dynamiquement le chemin.)

### 2. Gestion Cible

Responsable de la lecture des données de cibles depuis un fichier (FichierTexte) et de leur affichage via un menu déroulant.

Fonctions principales :

Définir Position Depuis Menu (int) : définir une cible à partir d'un menu.

Obtenir Cible Par Nom (string) : chercher une cible selon son nom.

### 3. Recentrage Code QR

Gère la détection et le recadrage via un QR Code.

Elle travaille avec :

- Gestion Cible pour définir la nouvelle position.
- Panneau QR pour afficher ou cacher l'interface de scan.

#### 4. Visualisation Ligne

Utilisée pour tracer une ligne représentant le chemin sur le sol.

Elle utilise :

- Contrôleur Navigation pour obtenir le chemin.
- Décalage Y pour ajuster la hauteur de la ligne.

#### 5. Visualisation Fleche

- Affiche une flèche AR indiquant la direction à suivre.
- Elle récupère l'état du chemin depuis Contrôleur Navigation.

#### 6. Controleur Fleche

- Contrôle l'orientation de la flèche affichée en RA selon les mises à jour de navigation.

#### 7. Cible Façade

Classe simple qui contient les informations de chaque cible :

- Nom.
- Numéro d'étage.

#### Relations et multiplicités :

- Gestion Cible est liée à plusieurs Cible Façade (1 --> 0..\*), ce qui signifie qu'elle gère plusieurs cibles.
- Gestion Cible dépend aussi de Contrôleur Navigation.
- Recentrage Code QR utilise une instance de Gestion Cible et peut interagir avec une Cible Façade si nécessaire.
- Visualisation Ligne, Visualisation Fleche et Controleur Fleche s'appuient toutes sur Contrôleur Navigation pour obtenir le chemin à suivre.

#### 6.2.3. Diagramme de séquence :

Il montre les objets participants et les messages échangés entre eux, permettant de visualiser le flux des interactions et le comportement dynamique du système.

Ce type de diagramme est particulièrement utile pour modéliser un scénario spécifique, comme la navigation à l'intérieur d'un bâtiment à l'aide de la réalité augmentée, voir la figure III.3 :

- **Scénario modélisé dans notre application**

Dans notre application de navigation intérieure en réalité augmentée, le diagramme de séquence (III.3) illustre un scénario précis où l'utilisateur scanne un code QR pour initialiser la navigation, puis est guidé en temps réel vers sa destination via des flèches virtuelles.

Voici les étapes représentées dans le diagramme :

1. L'utilisateur Déclenche l'activation de la caméra à partir de l'interface.
2. Le composant AlternativeImage capture l'image, décode le code QR, puis envoie la position cible au ControleurNavigation.
3. Une fois la position cible définie, le système entre dans une boucle continue de traitement pour chaque image (frame) capturée par la caméra :
  - **VisualisationFlecheChemin** demande le chemin calculé à **ControleurNavigation**.
  - **LeControleurNavigation** renvoie un chemin sous forme de maillage (liste de points).
  - **VisualisationFlecheChemin** effectue plusieurs opérations internes :
    - Ajouter un décalage au chemin pour correspondre à l'environnement réel,
    - Sélectionner le prochain point de navigation selon la position actuelle,
    - Appliquer un décalage à l'affichage de la flèche pour un bon positionnement.
4. Enfin, **VisualisationFlecheChemin** envoie une commande à **FlecheRA**, la flèche virtuelle, pour qu'elle s'oriente automatiquement vers le point suivant à atteindre. Ce diagramme permet de visualiser clairement la coordination entre les différents composants du système, de l'analyse du code QR jusqu'à l'affichage dynamique des instructions de navigation en réalité augmentée.

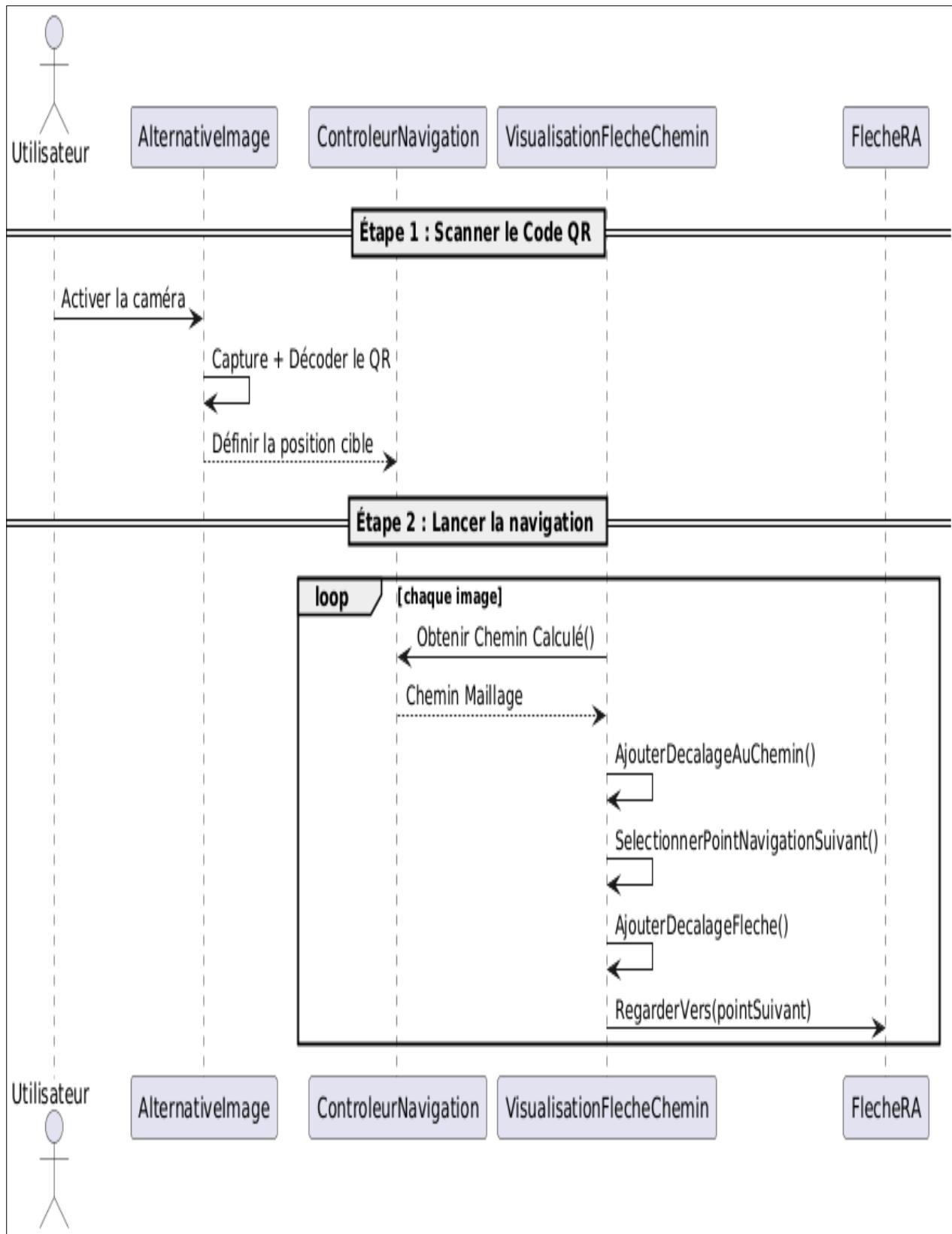


Figure III.3 - Le diagramme de Séquence.

## 7. Diagramme d'activité

Le diagramme suivant représente les étapes du processus de navigation intérieure en réalité augmentée (montré dans la figure III.4), depuis le scan du code QR jusqu'à l'arrivée à la destination. Il illustre le calcul du chemin optimal à l'aide de l'algorithme A\*, l'affichage des directions en 3D via la RA, et la mise à jour continue de la position grâce à SLAM jusqu'à atteindre le point d'arrivée.

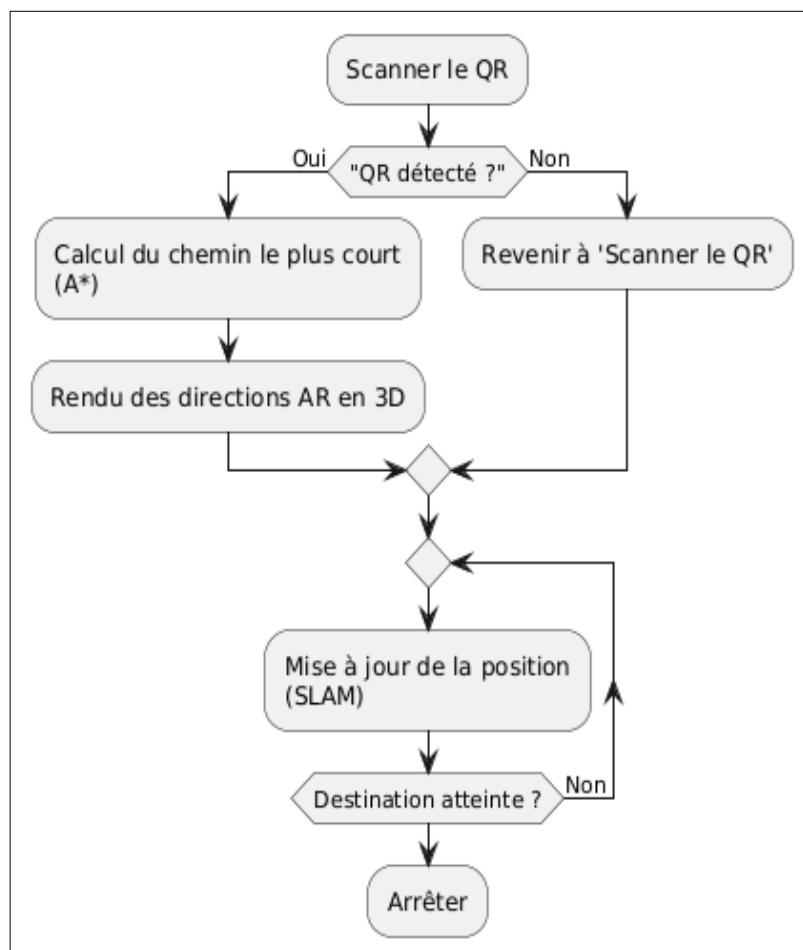


Figure III.4 - Le Diagramme d'activité

## 8. Conclusion

Ce chapitre a exploré en profondeur les étapes fondamentales pour concevoir un système de navigation en réalité augmentée (RA) adapté à un environnement universitaire. Il a mis en lumière l'identification des besoins spécifiques des utilisateurs, la définition des fonctionnalités clés, ainsi que l'architecture détaillée du projet.

À travers une analyse minutieuse, nous avons établi une base solide pour garantir une navigation fluide et intuitive, en intégrant des technologies avancées telles que le suivi spatial et l'affichage d'informations en temps réel. Cette phase de conception constitue un jalon essentiel pour assurer une expérience utilisateur optimale et une mise en œuvre efficace du système.

Dans le chapitre suivant, nous approfondirons l'implémentation technique et le développement pratique de cette solution, en détaillant les outils, les frameworks et les algorithmes utilisés pour donner vie au projet.

Chapitre **4**

## *Implémentation*

## 1. Introduction

L'objectif de ce projet avant-gardiste est de simplifier l'orientation des étudiants et des visiteurs à l'université en offrant une expérience moderne et interactive qui allie une carte digitale à la réalité augmentée pour délivrer des instructions visuelles et sonores précises.

Dans ce chapitre, nous présenterons les outils et techniques utilisés, ainsi que les langages de programmation sur lesquels nous nous sommes appuyés pour réaliser ce travail. Nous expliquerons également l'interface et les principales fonctions de l'application, telles que la sélection d'une destination dans une liste, le suivi d'un itinéraire à l'aide d'une ligne de carte et de l'environnement réel, et l'identification de l'emplacement de l'utilisateur à l'aide de codes QR.

Enfin, nous présenterons les résultats des tests réalisés au sein de l'université et l'efficacité de l'application pour améliorer l'expérience de mobilité au sein des bâtiments universitaires.

## 2. Objectifs de l'application

Notre projet vise à concevoir et développer une application de navigation intérieure pour l'Université de Biskra, basée sur la technologie de Réalité Augmentée (RA). Cette application permet aux étudiants, aux professeurs et aux visiteurs de se déplacer facilement et efficacement dans les bâtiments de l'université, sans avoir besoin de guidage traditionnel ou de signalisation fixe.

L'application s'appuie sur une interface interactive, où l'utilisateur sélectionne sa destination dans une liste contenant tous les points importants (tels que : les amphis, les salles, etc.), et un chemin clair est tracé sur une mini-carte interactive. Elle s'affiche également en direct au sol grâce à la caméra via des flèches et des signaux visuels et sonores utilisant la réalité augmentée, pour guider l'utilisateur pas à pas.

- **Objectifs du projet :**

- Faciliter la navigation au sein de l'université sans se perdre ni se poser de questions.
- Offrir une expérience technologique moderne au sein de l'institution universitaire.
- Guidez les utilisateurs avec précision grâce à la réalité augmentée.
- Relier la carte interactive à la localisation réelle de l'utilisateur en temps réel.
- Intégrer des aides audio et visuelles pour améliorer l'expérience utilisateur.

### 3. Rappel des besoins

#### a. Besoins fonctionnels

Voici les fonctionnalités essentielles que notre application doit proposer à ses utilisateurs :

- Offrir à l'usager la possibilité de sélectionner sa destination à partir d'une liste incluant tous les lieux clés de l'université (salles, amphis, bureaux, etc.).
- Afficher le parcours désiré sur une petite carte interactive.
- Utiliser le téléphone pour afficher une orientation visuelle à travers la réalité augmentée sur le sol.
- Proposer des consignes audios qui guident l'utilisateur dans ses déplacements sans qu'il ait besoin de consulter sans cesse son téléphone.
- Identifier l'emplacement exact de l'utilisateur sur la carte en direct.
- Possibilité de scanner le code QR pour localiser avec précision le point de départ.
- Faciliter la mise à jour des points d'intérêt sur la carte,
- Proposer une interface conviviale et claire pour tous les groupes (étudiants, enseignants, visiteurs).

#### b. Besoins non fonctionnels

- Pour assurer une expérience utilisateur agréable et efficace, l'application doit inclure les caractéristiques suivantes :
- L'application doit être rapide et économique en ressources sur les appareils.
- L'interface utilisateur doit être intuitive, moderne et facile à comprendre.
- L'application devrait fonctionner même sans connexion Internet.
- Un positionnement précis à l'intérieur du bâtiment doit être assuré.
- L'application doit être conçue pour fonctionner sur tous les appareils Android que possèdent les étudiants.
- L'utilisation des commandes vocales doit être claire et compréhensible pour tous.

## 4. Architecture

Notre application est basée sur une architecture modulaire, où le projet est divisé en plusieurs modules indépendants,(comme illustré dans la figure VI.1) chacun étant responsable d'une fonction spécifique au sein du système. Cela permet un développement plus facile.

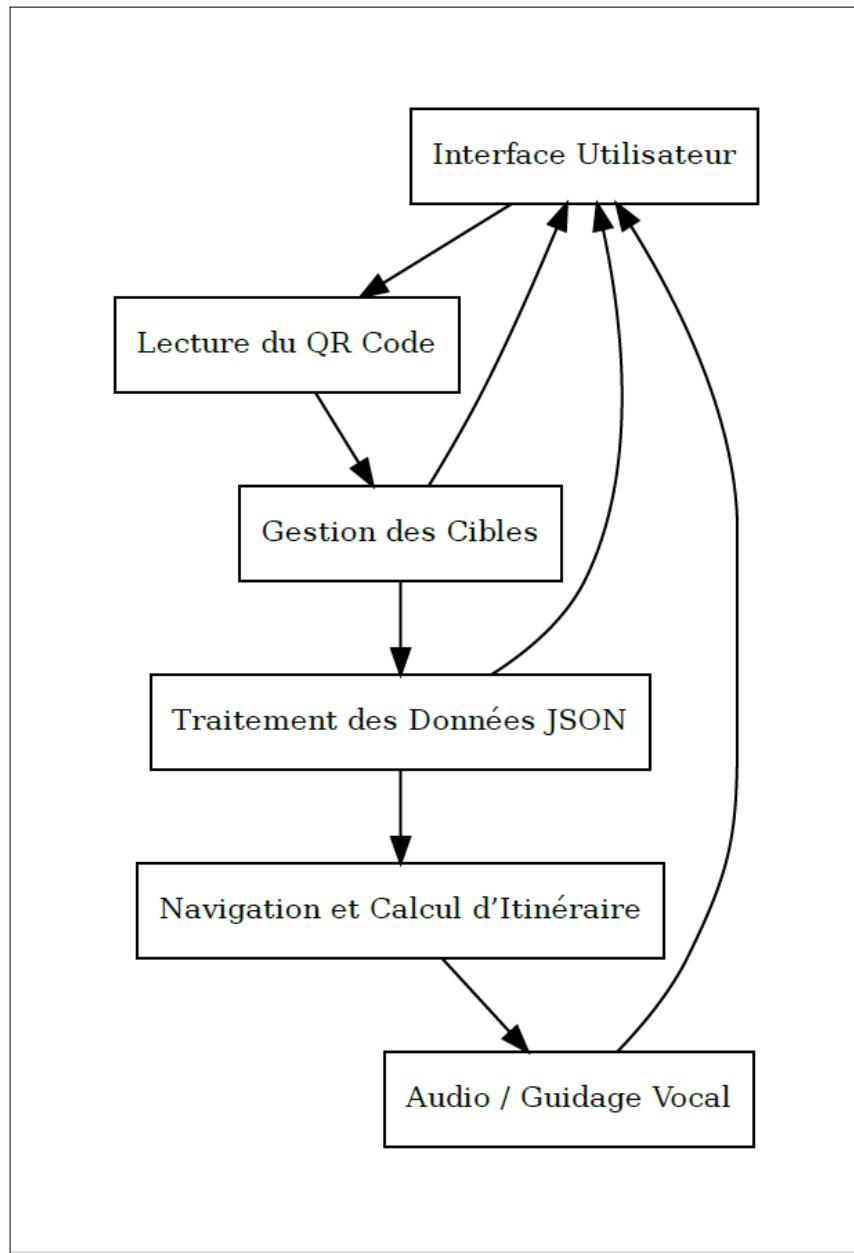


Figure VI.1 - Architecture de l'application propre

### **a. Module Interface Utilisateur (UI)**

Le module d'interface utilisateur (UI) est un élément essentiel de l'expérience utilisateur qui affiche des informations et contrôle l'interaction entre l'utilisateur et le système de manière visuelle et facile à comprendre.

Ce module est basé sur un ensemble de composants logiciels qui affichent des données liées à la navigation, au guidage vocal et à l'identification des cibles via des interfaces visuelles telles que des menus déroulants et des textes (TextMeshPro), en plus de contrôler la vision cinématique des routes et des flèches qui guident l'utilisateur dans l'environnement virtuel ou augmenté.

Par exemple, le module TargetHandler lit les données cibles d'un fichier JSON et les convertit en éléments interactifs qui apparaissent dans un menu déroulant à partir duquel l'utilisateur peut sélectionner une cible, et la destination de navigation est automatiquement mise à jour en fonction de la sélection. De plus, le chemin est affiché via PathLineVisualisation et PathArrowVisualisation, ces composants fournissent une interface visuelle dynamique pour suivre les directions avec un contrôle sur l'affichage et le masquage de ces indicateurs via le module SwitchPathVisualisation.

De plus, l'unité prend en charge l'interaction avec la caméra AR via QrCodeRecenter, qui permet de recentrer la scène en fonction de la lecture du code QR, améliorant ainsi l'expérience d'interaction dynamique avec l'environnement.

### **b. Module de Gestion des Cibles**

Ce module charge et décode un fichier JSON contenant des informations sur des cibles (lieux) avec leurs données, telles que le nom, le numéro d'étage, l'emplacement et la direction. Il crée ensuite des objets dans la scène, les positionne et les oriente selon les données extraites, puis les enregistre dans une liste. Cette dernière est utilisée pour la navigation ou le recentrage via la numérisation de QR codes.

- **Chargement des données cibles à partir d'un fichier JSON**

Tout d'abord, les données cibles sont chargées à partir du fichier targetData, qui est un fichier JSON contenant toutes les informations sur les cibles (nom, numéro d'étage, emplacement, rotation), comme illustré dans la figure VI.2:

```
private IEnumerable<Target> GenerateTargetDataFromSource() {
    return JsonUtility.FromJson<TargetWrapper>(targetModelData.text).TargetList;
}
```

Figure VI.2 - Fonction de génération des données cibles à partir d'une source JSON

- **Créer des éléments dans la scène (cibles)**

Après le chargement des données, une copie du préfabriqué est créée pour chaque cible et placée à l'emplacement approprié (par étage) et reçoit la position et la rotation correctes, Voir l'extrait de code présenté dans la figure VI.3:

```
private TargetFacade CreateTargetFacade(Target target) {
    GameObject targetObject = Instantiate(targetObjectPrefab, targetObjectsParentTransforms[target.FloorNumber], false);
    targetObject.SetActive(true);
    targetObject.name = $"{target.FloorNumber} - {target.Name}";
    targetObject.transform.localPosition = target.Position;
    targetObject.transform.localRotation = Quaternion.Euler(target.Rotation);
    TargetFacade targetData = targetObject.GetComponent<TargetFacade>();
    targetData.Name = target.Name;
    targetData.FloorNumber = target.FloorNumber;
    return targetData;
}
```

Figure VI.3 - Crédit et initialisation dynamique des cibles dans la scène .

- **Afficher la liste des objets dans l'interface utilisateur**

Les cibles sont ajoutées à une **liste déroulante** afin que l'utilisateur puisse **sélectionner une cible spécifique** parmi les options disponibles, voir l'extrait de code présenté dans la figure VI.4.

```
private void FillDropdownWithTargetItems() {
    List<TMP_Dropdown.OptionData> targetFacadeOptionData =
        currentTargetItems.Select(x => new TMP_Dropdown.OptionData {
            text = $"{x.FloorNumber} - {x.Name}"
        }).ToList();
    targetDataDropdown.ClearOptions();
    targetDataDropdown.AddOptions(targetFacadeOptionData);
}
```

Figure VI.4 - Rempissage du menu(DropDown).

#### c. Module de traitement des requêtes de l'utilisateur

Les requêtes de l'utilisateur peuvent consister soit à mettre à jour sa position actuelle (**Repositionnement**), soit à rechercher le chemin vers une destination. Cette dernière peut être choisie de plusieurs manières : soit à partir d'une liste, soit en scannant son code QR.

- **Repositionnement à l'aide du code QR**

Lorsqu'un **code QR** est scanné, le texte lu est comparé aux cibles existantes et, s'il correspond, la scène RA est recentrée autour de la cible correspondante.

```
private void SetQrCodeRecenterTarget(string targetText) {
    TargetFacade currentTarget = targetHandler.GetCurrentTargetByTargetText(targetText);
    if (currentTarget != null) {
        session.Reset();

        sessionOrigin.transform.position = currentTarget.transform.position;
        sessionOrigin.transform.rotation = currentTarget.transform.rotation;
    }
}
```

Figure VI.5 - Les demandes utilisées présentent le lieu à l'aide du code QR.

#### d. Rechercher le chemin vers une destination à partir d'une liste

Lorsque l'utilisateur sélectionne une cible dans la liste, la sélection est convertie en coordonnées **3D** et envoyée au **NavController** pour mettre à jour la destination de navigation.

```
public void SetSelectedTargetPositionWithDropdown(int selectedValue) {
    navigationController.TargetPosition = GetCurrentlySelectedTarget(selectedValue);
}

private Vector3 GetCurrentlySelectedTarget(int selectedValue) {
    if (selectedValue >= currentTargetItems.Count) {
        return Vector3.zero;
    }

    return currentTargetItems[selectedValue].transform.position;
}

public TargetFacade GetCurrentTargetByTargetText(string targetText) {
    return currentTargetItems.Find(x =>
        x.Name.ToLower().Equals(targetText.ToLower()));
}
```

Figure VI.6 - Sélection et récupération de la position d'une cible via Dropdown ou texte

- **Rechercher le chemin vers une destination à partir d'un code (QR)**

Lors de la lecture du code QR, la cible portant le même nom est recherchée.

```
public TargetFacade GetCurrentTargetByTargetText(string targetText) {  
    return currentTargetItems.Find(x =>  
        x.Name.ToLower().Equals(targetText.ToLower()));  
}
```

Figure VI.7 - Fonction de rechercher le chemin

#### e. Module de lecture du codeQR

Le lecteur de code QR permet à l'utilisateur de déterminer sa position actuelle en scannant un code QR contenant des informations de localisation. Pour ce faire, l'application accède à l'appareil photo du téléphone et traite chaque image capturée. Ce traitement peut inclure la mise à jour de l'affichage ou le traitement de l'image elle-même.

- **Lire le code QR à l'aide de l'appareil photo :** (Comme illustré dans le code de la figure VI.8 ci-dessous)
- **OnEnable()** : Une fonction qui est appelée automatiquement lorsqu'un *GameObject* ou un *composant* est activé.
- **cameraManager.frameReceived** : Est un événement qui est déclenché ou activé chaque fois qu'une nouvelle image ou image arrive de la caméra.
- La fonction **OnCameraFrameReceived()** : est automatiquement exécutée lorsque la caméra reçoit une nouvelle image,

```
private void OnEnable() {  
    cameraManager.frameReceived += OnCameraFrameReceived;  
}
```

Figure VI.8 - Fonction de Lire le code QR

## f. Module de Navigation et Calcul d'Itinéraire

Ce module est chargé de calculer le chemin entre l'emplacement de l'utilisateur et la destination, ainsi que de calculer l'angle et la direction nécessaires à la navigation. Il met également à jour le chemin en permanence.

- **Calcul du chemin entre l'emplacement de l'utilisateur et la cible**

Cela se fait à l'intérieur de la fonction **Update()**. Le chemin est calculé depuis la position actuelle de l'utilisateur (**transform.position**) jusqu'à la position cible (**TargetPosition**) en utilisant toutes les zones (**NavMesh.AllAreas**) et place le résultat dans la variable **CalculatedPath**.

```
private void Update() {
    if (TargetPosition != Vector3.zero) {
        NavMesh.CalculatePath(transform.position, TargetPosition, NavMesh.AllAreas, CalculatedPath);
        HandleVoiceGuidance();
    }
}
```

Figure VI.9 - Fonction de calcul du chemin

- **Calculer l'angle et la direction**

La fonction **HandleVoiceGuidance()** calcule l'angle entre la direction précédente et la direction actuelle et guide l'utilisateur avec la voix (droite ou gauche), le code source de la figure VI.10 pour plus de détails.

```
private void HandleVoiceGuidance() {
    if (CalculatedPath != null && CalculatedPath.corners.Length >= 2) {
        Vector3 currentDirection = (CalculatedPath.corners[1] - CalculatedPath.corners[0]).normalized;

        if (lastDirection == Vector3.zero) {
            lastDirection = currentDirection;
            return;
        }

        float angle = Vector3.SignedAngle(lastDirection, currentDirection, Vector3.up);

        if (angle > 45f) {
            PlayClip(turnRightClip);
            lastDirection = currentDirection;
        }
        else if (angle < -45f) {
            PlayClip(turnLeftClip);
            lastDirection = currentDirection;
        }
    }
}
```

Figure VI.10 – Exemple de guidage vocal

La ligne de code ci-dessous est utilisée pour calculer l'angle entre la direction précédente (**lastDirection**) et la direction actuelle (**currentDirection**) autour de l'axe Y (**Vector3.up**). Cela est utile pour déterminer si l'utilisateur doit tourner à gauche ou à droite. Si l'angle est positif, il faut tourner à droite, et s'il est négatif, il faut tourner à gauche.

```
float angle = Vector3.SignedAngle(lastDirection, currentDirection, Vector3.up);
```

Figure VI.11 - Calcul de l'angle signé entre deux directions en 3D

- **Mettre à jour le chemin**

Cette fonction **private void Update()** fait partie du cycle de vie de l'objet Unity et est appelée automatiquement à chaque image pendant que le jeu est en cours d'exécution. Comme illustré dans le code de la figure VI.12 ci-dessous.

```
private void Update() {
    if (TargetPosition != Vector3.zero) {
        NavMesh.CalculatePath(transform.position, TargetPosition, NavMesh.AllAreas, CalculatedPath);
        HandleVoiceGuidance();
    }
}
```

Figure VI.12 - Fonction de mettre à jour le chemin

- **if (TargetPosition != Vector3.zero)** : Il s'agit d'une condition permettant de vérifier si la **TargetPosition** est différente du point (0,0,0), c'est-à-dire si une cible spécifique a été définie ou non.
- **NavMesh.CalculatePath(transform.position, TargetPosition, NavMesh.AllAreas, CalculatedPath)** : Cette fonction calcule un chemin depuis la position actuelle de l'objet (**transform.position**) jusqu'à la position cible (**TargetPosition**) sur le maillage de navigation (**NavMesh**).
- **NavMesh.AllAreas** : Cela signifie que le compte inclut tous les types de zones autorisées dans le réseau de mobilité.

- **CalculatedPath** : Il s'agit de la variable dans laquelle le chemin calculé sera stocké.
- **HandleVoiceGuidance** ; une fonction qui traite les instructions vocales pour l'utilisateur en fonction de l'itinéraire ou de l'itinéraire actuel.

Donc à chaque mise à jour de trame, s'il existe une cible spécifiée (**TargetPosition** n'est pas nul), le chemin de navigation de l'emplacement actuel de l'objet à cette cible est calculé à l'aide du maillage de navigation, puis les instructions vocales sont mises à jour en fonction du nouveau chemin.

- **Module Audio / Guidage Vocal**

- **HandleVoiceGuidance()**

Cette fonction est chargée de donner des instructions audio (telles que « tourner à droite » ou « tourner à gauche ») lorsque la direction de l'utilisateur change pendant la navigation le long d'un chemin donné (**CalculatedPath**), le fonctionnement est montré dans le code de la figure VI.13 :

```
private void HandleVoiceGuidance() {
    if (CalculatedPath != null && CalculatedPath.corners.Length >= 2) {
        Vector3 currentDirection = (CalculatedPath.corners[1] - CalculatedPath.corners[0]).normalized;
```

Figure VI.13 - Fonction de HandleVoiceGuidance

- **CalculatedPath != null** : Cela signifie que le chemin de navigation a déjà été calculé, c'est-à-dire qu'il n'est pas vide.
- **CalculatedPath.corners.Length >= 2** : *Cela signifie que le chemin comporte au moins deux points d'angle puisque nous avons besoin de deux points pour calculer la direction du mouvement (du premier point au deuxième).*
- **Vector3 currentDirection = (CalculatedPath.corners[1] - CalculatedPath.corners[0]).normalized;** *La direction actuelle du mouvement est calculée.*
- **CalculatedPath.corners[1] - CalculatedPath.corners[0]** : *Calcule la différence entre les deux premiers points du chemin, c'est-à-dire la direction du mouvement du point 0 au point 1.*
- **normalized** : *Cette direction est convertie en un vecteur unitaire, ce qui la rend plus facile à gérer dans les calculs.*

- Guidage vocal pour l'utilisateur basé sur le changement de direction en utilisant l'angle de lacet :*

```
        if (lastDirection == Vector3.zero) {
            lastDirection = currentDirection;
            return;
        }

        float angle = Vector3.SignedAngle(lastDirection, currentDirection, Vector3.up);

        if (angle > 45f) {
            PlayClip(turnRightClip);
            lastDirection = currentDirection;
        }
        else if (angle < -45f) {
            PlayClip(turnLeftClip);
            lastDirection = currentDirection;
        }
    }
}
```

Figure VI.14 - Le code implémente le changement de direction de l'utilisateur et lit le guidage vocal pour tourner à droite ou à gauche.

- **if (lastDirection == Vector3.zero) :** Il s'agit d'une condition permettant de vérifier si **lastDirection** est vide (c'est-à-dire qu'aucune direction précédente n'a encore été définie) :
    - ◆ Si elle est vide, cela signifie que c'est la première fois que la direction est calculée.
    - ◆ **lastDirection = currentDirection** Il enregistre la direction actuelle comme référence pour une comparaison ultérieure.
    - ◆ Puis **return;** ; Quitte temporairement la fonction et le reste du code n'est pas exécuté jusqu'à la prochaine mise à jour.
  - **float angle = Vector3.SignedAngle(lastDirection, currentDirection, Vector3.up);**

Calcule l'angle entre la direction précédente et la direction actuelle :

```
float angle = Vector3.SignedAngle(lastDirection, currentDirection, Vector3.up);
```

Renvoie l'angle entre deux vecteurs et détermine s'il est positif (droite) ou négatif (gauche).

if (angle > 45f) :

- Si l'angle est supérieur

audio pour guider l'utilisateur à tourner à droite est joué : **PlayClip(turnRightClip);**

- case of (angle  $< -45^\circ$ ):

Si l'angle est inférieur à -45 degrés cela signifie que l'utilisateur doit tourner à gauche donc un clip audio pour guider l'utilisateur à tourner à gauche est joué : **PlayClip(turnLeftClip)**;

- **lastDirection = currentDirection;** Chaque fois qu'une direction est calculée, la dernière direction

est mise à jour pour devenir la direction actuelle.

## 5. Présentation de l'Interface Utilisateur

Ce projet consiste à développer un système de navigation intérieure destiné aux étudiants et visiteurs du département d'informatique à l'université de Biskra, utilisant la technologie de la réalité augmentée. Son objectif est de faciliter l'accès aux différents lieux à l'intérieur du département grâce à une interface interactive simple, et une carte de navigation soutenue par un code QR.

**a.** L'interface principale est composée de plusieurs boutons :

- Le premier bouton **Retour au menu principal** permet de revenir au menu principal, voir la figure 4.49.



Figure VI.15 – Image illustrative de l'application

- Le deuxième bouton **Activer/Désactiver le code QR** active ou désactive le scanner de code QR. (Illustré en figure 4.50)



Figure VI.16 - Image illustrative de l'application.

- Le troisième bouton **Sélectionnez l'étage** nous permet de choisir l'étage recherché(Comme illustré à la figure VI.17)



Figure VI.17 - Image illustrative de l'application

- Sous ces boutons se trouve une carte interactive du département, permettant de visualiser les lieux classés par couleur. Des boutons sont également disponibles pour afficher ou masquer la carte de navigation : Afficher la carte de navigation et Masquer la carte de navigation (Voir **Figure VI.18**). Ces boutons permettent à l'utilisateur de choisir s'il souhaite voir le chemin ou le cacher.



Figure VI.18 - Afficher /Masquer la carte de navigation

Ces options permettent à l'utilisateur de choisir s'il souhaite voir le trajet ou le cacher , (Comme illustré à la figure VI.19).

1. Dans une autre interface, nous pouvons voir la fonctionnalité d'accès direct à un étage précis :

- Accéder au 1er étage
- Accéder au 2ème étage



Figure VI.19 - Un étage précis

2. Nous avons également ajouté une barre **Hauteur de ligne** qui permet de contrôler la hauteur de la ligne (voir la figure VI.20) afin qu'elle s'adapte au niveau de la caméra.
3. Enfin, le bouton **Scanner le code QR** permet d'activer la caméra pour scanner le code et se diriger directement vers le lieu ciblé.

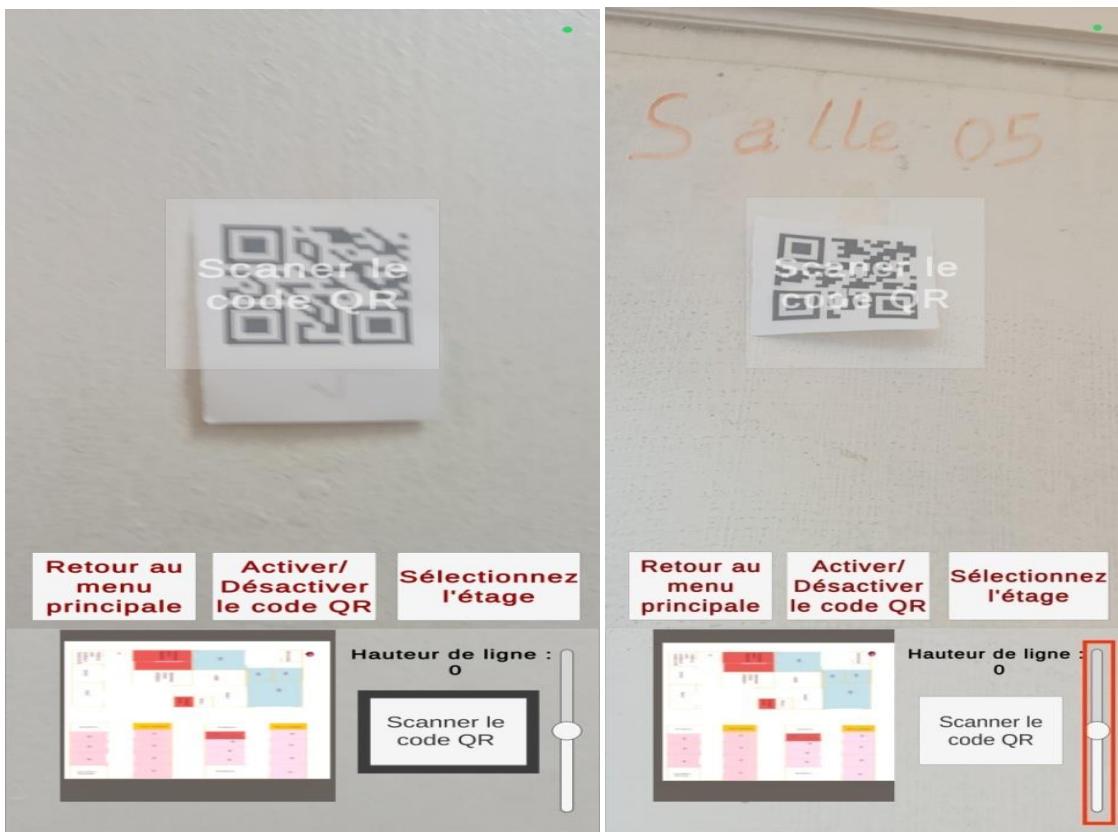


Figure VI.20 - Scanner le code QR (à gauche) et la barre Hauteur de ligne (à droite).

**b. Conclusion après la présentation de l'interface :**

Comme nous l'avons vu, l'interface est facile à comprendre et interactive, permettant à l'utilisateur de naviguer efficacement au sein du département grâce à la technologie de réalité augmentée. À l'avenir, le système pourra être enrichi par l'intégration d'une **assistance vocale**. Celle-ci offrira à l'utilisateur des instructions audibles, facilitant ainsi l'interaction, notamment pour les personnes en situation de handicap. Cette fonctionnalité s'appuiera sur des technologies avancées de traitement du langage naturel, permettant une compréhension contextuelle et une réponse adaptée aux besoins de l'utilisateur.

Le système prendra également en charge plusieurs langues, offrant ainsi une expérience personnalisée aux utilisateurs de différentes nationalités. Ce support multilingue s'appuiera sur des algorithmes adaptatifs et des interfaces utilisateur localisées, garantissant une navigation fluide et intuitive.

Par ailleurs, des informations contextuelles supplémentaires seront affichées en réalité augmentée lors du parcours de l'utilisateur, telles que des détails sur les bureaux des professeurs, les couloirs, etc. Ces données seront présentées sous forme de fenêtres pop-up

interactives, enrichissant ainsi l'expérience utilisateur et facilitant la navigation dans l'environnement

## 6. Tests et Résultats

Pour évaluer les performances et la précision du système de navigation intérieure en réalité augmentée que nous proposons, nous avons conçu et réalisé plusieurs scénarios expérimentaux au sein du département d'informatique.

### **Scénario 1 : Sélection d'une destination via le menu et guidage avec la flèche AR**

**Contexte :** L'utilisateur se trouve devant le bloc B et souhaite aller à la salle 5.

#### **Étapes 1 :**

1. Lancer l'application.
2. Sélectionner la destination via le menu déroulant → Salle 5.
3. Activer la flèche de guidage en réalité augmentée.

**Résultats attendus :** La flèche apparaît correctement et pointe vers la salle 5.

#### **Résultats obtenus :**

La flèche est apparue avec précision et a dirigé l'utilisateur vers la salle souhaitée (voir figure VI.21). Des instructions vocales ont été émises lors des changements de direction (ex : "Tournez à droite"), facilitant la navigation sans devoir regarder l'écran en permanence.



Figure VI.21 – Sélection d'une destination via le menu et guidage avec la flèche AR

### Scénario 2 : Sélection d'une destination via le code QR et guidage avec la flèche AR

**Contexte :** L'utilisateur scanne un code QR à l'entrée pour se géolocaliser, puis choisi d'aller au 2e étage vers la salle 14.

#### Étapes : (Voir la figure VI.22)

1. Scanner le code QR via le bouton "Scanner le code QR".
2. Choisir l'étage via "Sélectionnez l'étage" → 2étage.
3. Sélectionner la destination : Salle 14.
4. Activer l'option pour afficher la carte de navigation.

**Résultats attendus :** Le trajet vers la salle 14 s'affiche à l'aide d'une flèche et d'une ligne de guidage en AR.

#### Résultats obtenus :

- La localisation a été effectuée avec succès après le scan.
- Le trajet a été affiché avec précision.
- Les indications vocales ont facilité la navigation, notamment lors du changement d'étage ou de direction.



Figure VI.22 - Utilisation du code QR à l'entrée et navigation vers le 2e étage

### Scénario 3 : Modification de la destination en cours de suivi d'un itinéraire

**Contexte :** L'utilisateur souhaite revenir au bureau du chef de département depuis une salle.

#### Étapes :( Comme illustré à la figure VI.23)

1. Sélectionner "Chef de département" depuis le menu déroulant.
2. Mise à jour automatique de la carte et du trajet.
3. Suivre la flèche jusqu'à destination.

**Résultats attendus :** Le trajet est recalculé correctement pour guider l'utilisateur.

#### Résultats obtenus :

- Le recalcul du trajet a été rapide.
- La flèche a correctement guidé l'utilisateur.
- Les instructions vocales ont permis une orientation claire sans surveiller l'écran.

#### Remarques générales :

1. La sélection manuelle depuis le menu est utile en l'absence de code QR.
2. Les instructions vocales améliorent nettement l'expérience utilisateur en déplacement.

3. La RA est stable et les éléments virtuels bien intégrés à l'environnement réel.
4. L'interaction entre la sélection d'étage et l'affichage de la carte est fluide et précise.



Figure VI.23 - Retour au bureau du chef de département depuis une salle

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons concrétisé notre idée en développant une application pour smartphone qui utilise la technologie de réalité augmentée (RA) et répond aux objectifs que nous nous sommes fixés au début du projet. Nous avons commencé par définir le contexte du projet et analyser les besoins, tant fonctionnels que techniques, puis nous avons présenté l'architecture de l'application qui comprend les composants de base les plus importants.

Ensuite, nous avons sélectionné un ensemble d'outils adaptés au projet, tels que Unity 3D et Vuforia, ainsi que des bibliothèques prenant en charge la lecture de codes QR.

Nous avons également conçu une interface utilisateur simple et claire qui permet aux utilisateurs d'interagir facilement avec l'application. Il peut donner une commande vocale pour spécifier la destination, et l'application trace une ligne indiquant le chemin vers cette destination, en fonction du code QR dans l'environnement pour identifier l'emplacement actuel.

Enfin, nous avons effectué une série de tests pour garantir l'efficacité de chaque partie de l'application. L'application répondait bien aux commandes, dessinait correctement et reconnaissait les codes QR avec précision.

Dans l'ensemble, les résultats ont été satisfaisants, l'application fonctionne comme prévu et atteint son objectif principal de faciliter la navigation dans l'espace grâce aux technologies de réalité augmentée.

## ***Conclusion générale***

À la fin de ce mémoire, nous avons le plaisir de présenter un résumé de ce qui a été accompli à travers ce travail de recherche portant sur la navigation intérieure utilisant la technologie de réalité augmentée. Tout au long de cette étude, nous avons cherché à fournir un contenu riche et détaillé, reflétant une compréhension approfondie des problématiques liées à la mobilité au sein des grands bâtiments, notamment dans les environnements universitaires. Nous avons également proposé des solutions innovantes s'appuyant sur les dernières avancées des technologies numériques.

L'un des objectifs majeurs de notre projet était de concevoir un système de navigation intérieure intelligent et performant, capable de faciliter les déplacements au sein de l'université pour différents profils d'utilisateurs – étudiants, visiteurs ou personnel – à travers une application de réalité augmentée offrant une expérience utilisateur optimisée en termes de précision, d'accessibilité et d'interactivité. Ces objectifs ont été soigneusement formulés afin de répondre aux besoins réels des utilisateurs, tout en prenant en compte les défis techniques et contextuels propres aux systèmes de mobilité traditionnels.

La phase pratique du projet s'est concrétisée par le développement d'un programme intégré combinant réalité augmentée et lecture de codes QR, permettant une localisation très précise. Ce système facilite la navigation à l'aide de flèches directionnelles virtuelles et de menus interactifs proposant diverses destinations sur le campus. Une attention particulière a été accordée à la conception d'une interface conviviale, accessible aux utilisateurs de tous niveaux techniques, avec une ouverture vers des évolutions futures intégrant des fonctionnalités supplémentaires.

Nous considérons ce projet comme un point de départ essentiel vers le développement de systèmes de mobilité intérieure plus intelligents et adaptables, pouvant être appliqués dans d'autres structures comme les hôpitaux, les centres commerciaux ou encore les aéroports. L'intégration de l'intelligence artificielle et des technologies d'analyse de données constitue une perspective prometteuse pour améliorer les performances et offrir des recommandations personnalisées. Par ailleurs, l'association avec des cartes 3D ou des systèmes de réalité mixte pourrait encore renforcer la précision et l'expérience immersive de navigation.

En conclusion, nous espérons que ce mémoire apportera une contribution significative au domaine de la mobilité intérieure et des technologies de réalité augmentée, et qu'il servira de référence pour le développement de solutions pratiques, innovantes et adaptées aux besoins réels des utilisateurs. Nous souhaitons également que l'application développée puisse être adoptée et améliorée dans le cadre de projets futurs similaires, contribuant ainsi à faire progresser ce domaine vers davantage d'innovation et d'impact.

## Références

- [1] Augmented Reality. Qu'est-ce que la réalité augmentée? <https://www.augmented-reality.fr/cest-quoi-la-realite-augmentee/>, Consulté 21/01/2025
- [2] [https://www.researchgate.net/figure/Le-continuum-Reel-Virtuel-adapte-de-Milgram-et-al-1994\\_fig1\\_29607586](https://www.researchgate.net/figure/Le-continuum-Reel-Virtuel-adapte-de-Milgram-et-al-1994_fig1_29607586) Consulté 20/01/2025
- [3] <https://images.app.goo.gl/WPjeGLjJjYEfgK6T7> , Consulté 21/01/2025
- [4] [https://www.researchgate.net/figure/The-worlds-first-head-mounted-display-with-the-Sword-of-Damocles-151\\_fig13\\_279867852](https://www.researchgate.net/figure/The-worlds-first-head-mounted-display-with-the-Sword-of-Damocles-151_fig13_279867852) , Consulté 21/01/2025
- [5] <https://numerized.com/fr/realite-augmentee/> , Consulté 23/01/2025
- [6] <https://www.augmented-reality.fr/cest-quoi-la-realite-augmentee/>  
<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/realite-augmentee-realite-augmentee-3963/>  
Consulté 22/01/2025
- [7] <https://core.ac.uk/pdf/20662835.pdf>, Consulté 23/01/2025
- [8] <https://www.cdcp-tn.com/realite-augmentee-au-service-de-leducation/> ,  
Consulté 21/01/2025
- [9] <https://www.news.com.au/technology/gadgets/mobile-phones/pokemon-go-hopes-to-reignite-viral-gaming-phenomenon-unleashing-new-monsters-to-catch/news-story/d7144f2db1e38be2038caa9233c617ba> , Consulté 22/01/2025
- [10] <https://www.frontiersin.org/journals/big-data/research-topics>, Consulté 22/01/2025
- [11] <https://additimedia.ouest-france.fr/tourisme-et-realite-augmentee-vers-une-transformation-du-voyage/> , Consulté 22/01/2025
- [12] [https://www.realite-virtuelle.com/apple-plans-ar/#google\\_vignette](https://www.realite-virtuelle.com/apple-plans-ar/#google_vignette) , Consulté 26/02/2025
- [13] <https://reality.fr/locations-lunettes-ar/> , Consulté 26/02/2025
- [14] <https://blog.stackademic.com/a-to-z-about-augmented-reality-17682c397cf7> ,Consulté 27/02/2025
- [15] <https://fr.aliexpress.com/item/1005005705407276.html> , Consulté 27/02/2025
- [16] dictionnaire Larousse en ligne , Consulté 27/01/2025
- [17] <https://rtone.fr/blog/geolocalisation/>Consulté 03/03/2025

- [18] <https://www.mokosmart.com/ar/introduction-to-indoor-positioning-system/?> Consulté 17/02/2025

[19] <https://www.acrylicwifi.com/blog/beacon-bluetooth-tecnologia-ventajas/> Consulté 04/02/2025

[20] <https://www.appleute.de/fr/app-entwickler-bibliothek/la-realite-augmentee-simplifiee/>, Consulté 27/01/2025

[21] <https://fastercapital.com/arabpreneur/NVI-Indoors.html#>, [كيف يعزز -رسم-الخراط-الداخلية-تجربة-المستخدم](https://fastercapital.com/arabpreneur/NVI-Indoors.html#), Consulté 09/02/2025

[22] [Créez une application de navigation AR qui superpose les directions au – peerdh.com](https://peerdh.com/), Consulté 14/02/2025

[23] <https://www.boniglobal.com/en/project/indoor-navigation/>, Consulté 1/02/2025

[24] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ArPlayer.ArPlayer&pli=1>, Consulté 1/02/2025

[25] <https://www.bairesdev.com/blog/what-is-unreal-engine/>, Consulté 04/02/2025

[26] <https://raynus.wordpress.com/2024/05/02/augmented-reality/#jp-carousel-16457>, Consulté 05/02/2025

[27] <https://mobidev.biz/blog/augmented-reality-indoor-navigation-app-development>, Consulté 05/02/2025

[28] <https://www.google.com/intl/fr/maps/about/partners/indoormaps/>, Consulté 05/02/2025

[29] <https://www.indooratlas.com/>, Consulté 06/02/2025 à 12:01

[30] <https://www.pointr.tech/>, Consulté 07/02/2025 à 15:01

[31] <https://www.navvis.com/solutions/indoor-navigation>, Consulté 09/02/2025

[32] <https://github.com/Beaconstac/indoorlocation-android>, Consulté 09/02/2025

[33] <https://getwemap.com/>, Consulté 09/02/2025

[34] [https://ijlis.journals.ekb.eg/article\\_124255.html?lang=ar](https://ijlis.journals.ekb.eg/article_124255.html?lang=ar), Consulté 09/02/2025

[35] <https://www.cedars-sinai.org/newsroom/lost-at-cedars-sinai-new-navigation-tool-available-for-smartphones/>, Consulté 09/02/2025

[36] <https://www.computerweekly.com/news/450419533/Gatwick-launches-augmented-reality-airport-navigation>, Consulté 09/02/2025

[37] <https://www.lemagit.fr/etude/Apps-IoT-realite-augmentee-Gatwick-experimente-a-tout-va-dans-le-numerique>, Consulté 09/02/2025

[38] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-uml-3979/>, Consulté 09/02/2025