



THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

La réalité augmentée dans la smart city état de l'art et perspectives

Manderlier, Robin

Award date:
2020

Awarding institution:
Universite de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**UNIVERSITÉ
DE NAMUR**

FACULTÉ
D'INFORMATIQUE

**La réalité augmentée dans la smart city : état
de l'art et perspectives.**

Manderlier Robin

UNIVERSITÉ DE NAMUR
Faculté d'informatique
Année académique 2019-2020

**La réalité augmentée dans la smart city : état
de l'art et perspectives.**

Manderlier Robin



Promoteur : _____ (Signature pour approbation du dépôt - REE art. 40)
Mr Dumas B.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences Informatiques.

Table des matières

1	Remerciements	3
2	Introduction	4
2.1	Contexte	4
2.2	Question de recherche	5
2.3	Méthodologie	5
2.4	Plan du memoire	5
3	Etat de l'art	6
3.1	Eléments généraux	6
3.1.1	Smart city	6
3.1.2	Réalité augmentée	8
3.2	Analyse des systèmes de réalité augmentée dans les smart cities	11
3.2.1	PRISMA	12
3.2.2	Archéoguide	13
3.2.3	Cyberarcheology	15
3.2.4	Heritage Museum	16
3.2.5	Projected AR intelligent model	17
3.2.6	Open cities EU	18
3.2.7	Collaborative outdoor	19
3.2.8	In vehicule AR	20
3.2.9	Smart Campus	21
3.2.10	SeeNav	22
3.2.11	City planning AR	23
3.2.12	Toronto	24
3.2.13	Flood AR	25
3.2.14	Underground technic	26
3.2.15	City planning system	27
3.2.16	Square AR	28
3.2.17	Public participation urban planning	29
3.2.18	Markerless vision based AR urban planning	30
3.2.19	Malvoyant carte 3D	31
3.2.20	Motor disable AR	32
3.2.21	Energy visualization AR	33
3.2.22	Caméra thermique	34
3.2.23	Energy management system AR	35
3.2.24	Sitelens	36
3.2.25	Air Quality	38
3.2.26	Fine dust AR	39
3.2.27	AR in security	40
3.2.28	Onsite building info	41
3.2.29	IoT services	42

3.2.30 SC paradigm	43
4 Observations	44
4.1 Introduction	44
4.2 Les domaines	44
4.2.1 Smart Living	45
4.2.2 Smart Government	46
4.2.3 Smart Environment	46
4.2.4 Smart mobility	46
4.2.5 Smart economy	47
4.2.6 Smart People	47
4.3 Technologie	48
4.4 Interaction	49
4.5 Affichage	52
4.6 Ligne du temps	53
4.7 Carte du monde	55
4.8 Recommandations	56
5 Conclusion	57

Chapitre 1

Remerciements

Je tiens à remercier Mr Dumas, professeur à l'Université de Namur et promoteur de mon mémoire pour avoir supervisé et encadré mes recherches et pour son temps précieux qu'il m'a consacré tout au long de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à mes proches pour leur soutien et leur temps passé à la relecture et correction de mon travail.

Je remercie également mon employeur qui a été compréhensif et a su me dégager du temps libre pour mes études en cours du soir.

Chapitre 2

Introduction

2.1 Contexte

Ce mémoire traite de deux thèmes qui ne semblent pas forcément liés de prime abord. Et pourtant de nombreux domaines d'activités sont communs aux deux et permettent de les mettre en relation. Quels liens pourrait-il y avoir entre la réalité augmentée et les smart-city ?

Avant toute chose, qu'est ce que la réalité augmentée ? C'est une technologie qui consiste à superposer des informations générées au champ de vision de l'utilisateur. Contrairement à la réalité virtuelle, la réalité augmentée conserve la vision du réel, celle-ci est seulement "augmentée" par des annotations, des images,...

Il y a quelques années, les lunettes de réalité augmentée comme les "google glass" ou les "hololens" nous ont été présentées comme de véritables révolutions qui seraient aussi répandues que le smartphone mais elles sont vite devenues réservées à une poignée d'utilisateurs et ont rapidement disparu pour le grand public. C'est évidemment le smartphone qui est apparu comme l'appareil le plus intéressant puisque possédé par la plupart des gens et suffisamment performant. De nombreuses applications permettent ainsi "d'augmenter" la réalité vue à travers l'appareil photo. Cela va du filtre sur les réseaux sociaux aux jeux comme Pokemon Go en passant par les catalogues de meubles permettant de voir le mobilier directement dans son intérieur.

Et la smart city alors ? Contrairement à la réalité augmentée, il s'agit cette fois d'un concept beaucoup moins précis. Elle est dès lors plus compliquée à définir. La définition la plus large consiste à dire qu'il s'agit d'une ville utilisant les nouvelles technologies afin d'augmenter le confort et de mieux gérer les différentes problématiques auxquelles elle fait face. On y retrouve aussi souvent une notion de données avec divers capteurs pour les collecter et une plateforme pour les traiter et les redistribuer à la population. Ainsi, l'éclairage public qui ne s'allume que lorsqu'il détecte une présence, ou encore les applications de transports en commun afin de localiser le bus ou de payer son ticket sont des exemples communément développés dans les smart cities.

2.2 Question de recherche

Ce mémoire a pour but de parcourir ces deux thématiques que sont la réalité augmentée et les smart cities et d'analyser les projets existants. La question principale à laquelle je vais tenter de répondre est de savoir comment est utilisée la réalité augmentée dans les smart cities ou, autrement dit, comment la réalité augmentée peut participer à rendre une ville "intelligente".

2.3 Méthodologie

Afin de répondre à ces questions, j'ai procédé en plusieurs étapes. La première était évidemment de me renseigner sur les deux thèmes principaux. Si j'avais déjà une bonne idée de ce qu'était la réalité augmentée, je n'avais par contre pas une idée très claire de ce qu'est une smart city. Il s'est en fait avéré que la smart-city est à la fois un concept "fourre-tout" et un "effet de mode". Chaque ville veut être qualifiée de "smart" et le moindre aspect plus ou moins technologique qu'elle développe lui permet d'être ainsi étiquetée.

J'ai donc recherché des articles sur des projets de réalité augmentée développés dans les smart cities. J'ai ensuite résumé ces articles et j'en ai dégagé certains critères comme le lieu et la date, le domaine, la technologie utilisée, etc.

Enfin, sur base de ces critères, j'ai pu observer des similitudes et des divergences entre les différents projets sur base de quoi j'ai pu tirer quelques conclusions et donner des recommandations pour des travaux futurs.

2.4 Plan du memoire

Ce mémoire est divisé en plusieurs parties. Dans une première partie qu'est l'état de l'art, je vais expliquer ce que sont les smart cities et la réalité augmentée. Suivront les différents résumés des projets sélectionnés.

Dans une seconde partie, les observations, je vais exposer les projets sous diverses formes (ligne du temps, carte, graphiques,...) afin de faire ressortir au mieux les caractéristiques des articles.

Chapitre 3

Etat de l'art

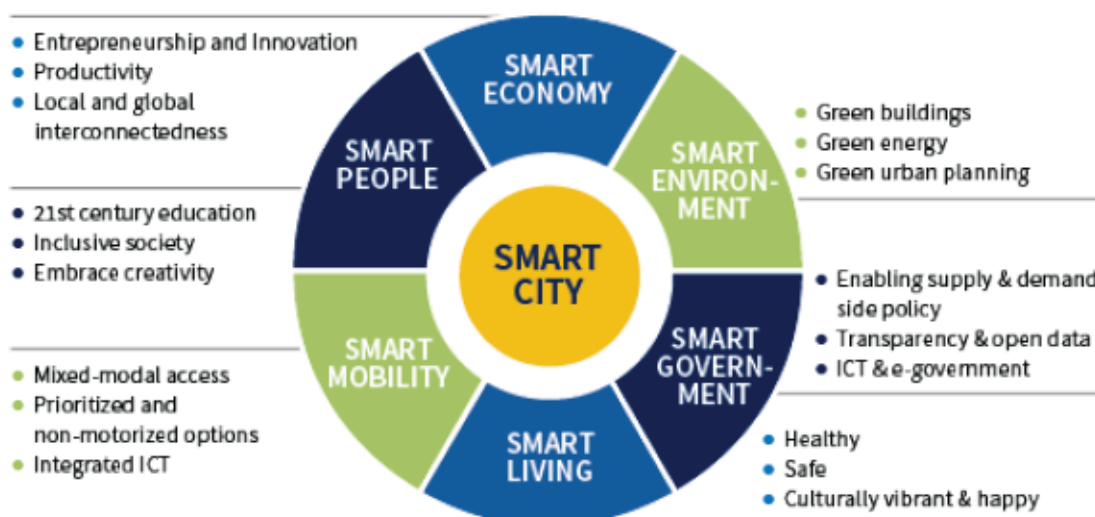
3.1 Eléments généraux

3.1.1 Smart city

Dans un monde où la population ne cesse de croître, les villes se multiplient et s'agrandissent. En effet, plus de la moitié de la population mondiale vit dans les villes. Cette forte concentration de personnes engendre de nouvelles problématiques notamment au niveau de la gestion des ressources (eau, énergie), des besoins accrus de services (logements, transports), de l'environnement (pollution) et du « vivre ensemble ».

Afin d'y répondre de manière efficace, de plus en plus de ville choisissent d'avoir recours à diverses technologies. Ces villes sont ce que l'on appelle des smart city. Cela soulève alors une question : « Suffit-il qu'une ville utilise la technologie pour être qualifiée de smart ? ». La réponse est : oui. Le terme smart-city est donc très large et pratiquement toutes les villes peuvent se prétendre « smart ».

Il est donc indispensable d'aller plus loin dans la classification. Pour ce faire, la smart city est définies par 6 domaines interdépendants :



- L'économie (smart economy) : axée sur l'innovation, l'esprit d'entreprise, la productivité, la flexibilité du marché du travail et la participation sur les marchés national et international tout en évitant le gaspillage.
- La mobilité (smart mobility) : trouver des solutions pour fluidifier le trafic, faciliter le stationnement, encourager les transports en communs et les déplacements verts, proposer des alternatives à l'automobile, prévoir un accès non seulement local mais international à la ville.
- La société (smart people) : privilégier le développement des citoyens en résorbant les inégalités et en les poussant à se former, encourager la créativité, avoir une ouverture d'esprit, favoriser les interactions sociales.
- La qualité de vie (smart living) : tendre vers le meilleur au niveau éducation, habitat, sécurité, santé, culture et tourisme.
- La gouvernance (smart government) : basée sur la transparence et le partage des informations et où la participation citoyenne joue un rôle important. Services en ligne pour la gestion administrative.
- L'environnement (smart environment) : favoriser un environnement de qualité avec des espaces verts et une attention particulière à la qualité de l'air, gérer de façon durable les ressources et veiller à la protection de l'environnement.

Avec leur évolution démographique très importante, les grandes villes d'Asie sont des pionnières dans le domaine. Hong Kong étant considéré comme une des première smart city.

Les villes du monde entier sont dans la course à la smart city, citons notamment les gagnants du "world smart city award" 2019 : Stockholm, Yingtian, La Paz, Buenos Aires, Los Angeles, Barcelone.

Qu'en est il en Belgique ? Environ 19% des villes sont considérées comme "smart" en Belgique. Parmi les domaines les plus souvent développés dans les smart cities belges, on retrouve l'optimisation énergétique, la participation citoyenne, les transports et la mobilité, le développement économique et les télécommunications.

3.1.2 Réalité augmentée

La réalité augmentée (RA) consiste à superposer des images virtuelles sur la vision de l'utilisateur. Cela peut être réalisé de différentes manières comme par projection ou par superposition et avec ou sans "marker". La réalité augmentée fait partie de ce que l'on appelle le spectre des réalités mixtes¹ :

Environnement réel - Réalité augmentée - virtualité augmentée - réalité virtuelle

Ce spectre va de gauche à droite, du plus réel au plus virtuel.

L'environnement réel est en fait notre environnement, sans aucun apport virtuel, celui que nous voyons, celui qui nous entoure.

Vient ensuite la réalité augmentée qui est une vision de notre environnement sur laquelle sont ajoutées des annotations, des images virtuelles.

La virtualité augmentée est souvent considérée comme l'inverse de la RA. En effet, il s'agit d'une image virtuelle dans laquelle sont greffées des images de l'environnement réel. On imagine par exemple, un environnement de jeux vidéo dans lequel est ajouté une image d'une personne réelle.

Enfin, la réalité virtuelle, autre extrême du spectre, est entièrement constituée d'éléments virtuels, rien n'y est réel. L'utilisation la plus répandue de cette technologie est le jeu vidéo. Elle permet une immersion totale dans l'univers du jeu et va souvent même plus loin en obligeant le joueur à réaliser les gestes de son personnage plutôt que d'utiliser une manette.

Revenons-en à la réalité augmentée qui nous intéresse dans ce cas ci. Bien qu'utilisée dans les jeux comme Pokemon Go, elle s'impose surtout comme un outil utile dans la vie de tous les jours dans des domaines divers et variés allant du filtre photo sur les réseaux sociaux jusqu'aux procédures chirurgicales. Les images virtuelles superposées sont elles aussi très variables, allant du simple texte en annotation jusqu'à d'imposants objets 3D qui s'intègrent parfaitement dans l'environnement réel.



1. MILGRAM, Paul, TAKEMURA, Haruo, UTSUMI, Akira, et al. Augmented reality : A class of displays on the reality-virtuality continuum. In : Telem manipulator and telepresence technologies. International Society for Optics and Photonics, 1995. p. 282-292.

Dans la réalité augmentée, on distingue différentes catégories de technologies qui varient en fonction des objectifs et des applications.

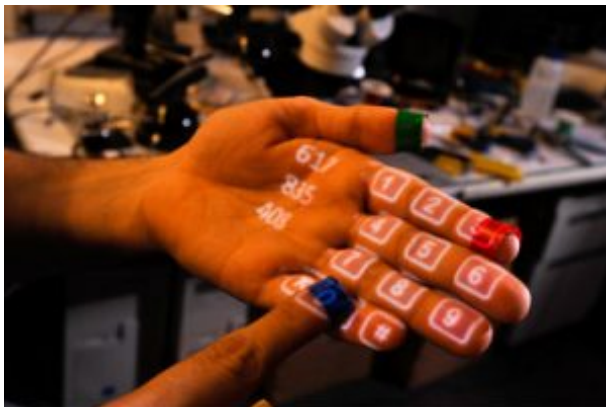
- "Marker based AR" : On utilise une caméra pour localiser et lire un marqueur de type QR code. Celui-ci permet d'identifier ce que l'utilisateur regarde et d'où il le regarde. Un processus remplace alors la partie du monde réel couverte par le marqueur par un élément virtuel. Le marqueur aide également à placer l'élément virtuel avec précision.



- "Markerless AR" : Cette technique se base sur la position GPS, la boussole et d'autre capteurs comme la vitesse ou l'accéléromètre. Le traitement de toutes ces données permet de calculer l'emplacement et l'orientation de l'utilisateur. Des éléments virtuels sont alors ajoutés à l'image avec une précision moindre mais suffisante pour donner des directions ou des informations sur les bâtiments.



- "Projection based AR" : Cette technologie affiche des informations sur le monde réel grâce à de la lumière projetée. Les informations virtuelles sont alors visibles de tout le monde, pas seulement par un utilisateur. Il est également possible de détecter les interactions humaines comme le toucher sur un clavier projeté. Une autre application intéressante consiste à utiliser des laser plasma afin de projeter des hologrammes interactifs en 3D.



- "Superimposition based AR" : Remplacement d'une partie de la vue originale par des éléments virtuels au travers d'un écran ou de lunettes. Dans ce cas, seul l'utilisateur peut voir la réalité augmentée. Cette technologie est utilisée dans les applications pour smartphone avec notamment, les essayages de vêtements virtuels ou le catalogue en réalité augmentée des meubles IKEA que l'on peut visualiser directement dans son propre intérieur.



3.2 Analyse des systèmes de réalité augmentée dans les smart cities

Dans cette partie, je vais résumer plusieurs projets utilisant la réalité augmentée dans les smart cities. Ceux-ci sont ceux que j'ai jugés les plus pertinents. En effet, j'ai dû définir des limites au cadre de la smart city. A première vue, de nombreux sujets pouvaient faire partie intégrante de la smart city comme par exemple l'enseignement, la médecine et l'industrie mais j'ai choisi de ne conserver que les articles pouvant apporter un plus à toute la collectivité et où la réalité augmentée pouvait être utilisée par tout un chacun. J'ai pris en considération la réalité augmentée comme étant un moyen d'améliorer et de contrôler de la gestion, d'interagir et de communiquer au coeur même de la smart city dans ses différents domaines et non une manière de faire progresser un domaine bien précis. Voilà pourquoi j'ai écarté certains thèmes. Dans un souci de clarté, j'ai décidé de présenter mes articles en les classant par domaines.

Chaque résumé est accompagné d'un tableau dans lequel figurent différents critères :

- Le titre exact de l'article.
- Domaine / Lieu / Année : Le domaine de la smart city représenté dans le projet ainsi que le lieu et l'année de réalisation.
- Support : Le support matériel utilisé dans le projet.
- Métaphore / Marker :
 - Métaphore : La réalité augmentée peut être classée suivant des métaphores que sont "magic lens" et "magic projector". Elles expriment la technologie utilisée entre la projection et la superposition.
 - Marker : Permet de différencier les projets en "markerless" et en "marker based" autrement dit, si les projets utilisent ou non des "marker".
- But : Quel est le but visé par le projet, qu'est ce qu'il apporte aux utilisateurs.
- Affichage :
 - Positionnement (P) : La position du contenu augmenté à une importance.
 - 2D / 3D : Le contenu augmenté est en 2D ou en 3D.
 - Densité d'information (DI) : En plus du contenu augmenté de type image, objet 3D, quelle quantité d'information textuelle est affichée à l'écran.
- Interaction : Comment l'utilisateur interagit avec le système présenté.
Remarque : Dans cette partie, quand je parle de "suivi du mouvement", il s'agit d'un suivi de mouvement de l'appareil. Ainsi, quand il s'agit d'un smartphone, on suit le mouvement du smartphone et donc de la main de l'utilisateur. Quand il s'agit de lunette, on suit le mouvement de la tête de l'utilisateur. Ce mouvement est généralement accompagné du regard de l'utilisateur.

3.2.1 PRISMA

Le concept de jumelles dans lesquelles on insère une pièce pour observer les alentours depuis un point haut d'une ville est connu de tous. Cet appareil permet de se faire une vision globale d'une ville et de ses points d'intérêts. Cependant, il n'est pas toujours évident de localiser ce que l'on observe et d'identifier ce que l'on voit.

Le projet PRISMA a pour but de créer des jumelles de ce type en version "augmentée". Grâce à une caméra placée sur les jumelles et à des capteurs inertiels, ce que l'utilisateur voit à travers la lentille peut être modifié afin d'y ajouter des informations sur les monuments observés (horaires, adresses,...) mais également d'y ajouter des photos ou encore le chemin pour s'y rendre. Il est également possible de proposer à l'utilisateur une reconstruction virtuelle en 2D ou en 3D de l'état original d'un monument qui a été modifié ou détruit.

FIGURE 3.1: Superposition de la vue réelle et de différents POI.



Le projet a également pour but de générer des informations concernant l'apparition des nouvelles technologies dans le tourisme et permet ainsi de classer les utilisateurs dans divers profils. Il permet aussi d'analyser le comportement humain dans un environnement touristique. (Est ce que le fait d'avoir vu un monument et ses informations incite à le visiter, etc.).

Une prochaine version des jumelles pourrait voir le jour, ajoutant plusieurs options comme la visualisation des alentours à d'autres périodes de l'année, la possibilité de lancer une visite virtuelle d'un monument ou encore la navigation d'un emplacement à un autre.

Enhancing Cultural Tourism experiences with Augmented Reality Technologies [1]

Domaine / Lieu / Année	Tourisme / Espagne / 2005
Support	Jumelles AR
Metaphore / Marker	Magic lense / Markerless
But	Localiser et s'informer sur les POI
Affichage	P : oui / 2D / DI : élevée
Interaction	Clique sur les flèches pour voir les infos du POI

3.2.2 Archéoguide

L'archéoguide fournit des informations sur le site et une reconstruction en réalité augmentée des ruines. Cette reconstitution est basée sur la position et l'orientation de l'utilisateur dans le site culturel ainsi que sur un rendu d'image en temps réel. Il fournit également un accès à des données culturelles, des visites virtuelles et des informations sur la restauration du site. Le système s'adapte au profil de l'utilisateur, qu'il soit professionnel ou amateur dans un but de recherche archéologique, d'éducation ou de tourisme.

Le système a été mis en place sur le site de l'olympie en Grèce et testé par un groupe représentatif d'utilisateurs. Il est composé d'une unité mobile embarquée par le visiteur, une couverture réseau sur tout le site et une base de données centrale.

En opposition avec l'audioguide classique, l'archéoguide offre une expérience plus réelle et plus vivante : la reconstruction en 3D des monuments par la réalité augmentée est superposée à l'état actuel de la ruine. Il offre plusieurs avantages : apprécier la grandeur et la sensibilité du monument, réduire les risques de dommages causés aux édifices (visiteurs maintenus à distance) et conserver la beauté du site sans le déformer avec de nombreux panneaux explicatifs.

Les unités mobiles transportées par les utilisateurs sont des Palm-top, des Pen-PC ou des laptop mais ceux-ci seraient aujourd'hui remplacés par un smartphone.

En plus des reconstitutions statiques des bâtiments, une reconstitution des jeux olympiques d'époque a été mise en place avec des athlètes virtuels. Grâce à la réalité augmentée, ceux-ci semblent s'affronter dans le stadium d'époque.

FIGURE 3.2: Reconstitution en RA de la ruine.



Les utilisateurs trouvent le système très intéressant et suggèrent de le développer dans d'autres sites culturels. Les plus enthousiastes sont les plus jeunes, plus habitués à manipuler ce genre d'appareils. Cela leur permet d'apprendre en ayant l'impression de jouer à un jeu vidéo ou tout au moins de pratiquer une activité ludique. Au contraire, les plus âgés éprouvent parfois des difficultés avec l'utilisation de l'appareil.

Un point négatif qui revient souvent est la qualité de l'image, un manque de luminosité et de contraste. Ce problème serait aujourd'hui résolu avec l'utilisation du smartphone.

ARCHEOGUIDE : First results of an Augmented Reality, Mobile Computing System in Cultural Heritage Sites [2]

Domaine / Lieu / Année	Tourisme / Grece / 2000
Support	Laptop / palm
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Recréer les monuments disparu en RA
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Suivi du mouvement

3.2.3 Cyberarcheology

Le projet cyberarcheology a été mis en place dans le parc de Cardeto situé dans un espace vert de la ville d'Ancona en Italie. Le but est de fournir au visiteur un flux constant d'informations partout et à tout moment. Pour cela une application mobile a été développée exploitant deux systèmes de tracking :

- Location-based : La géolocalisation du smartphone et un réseau de points d'intérêts disséminés dans le parc aident les utilisateurs à se déplacer.
- Edge-based : Il permet l'affichage en réalité augmentée d'une multitude d'informations à chaque fois qu'un utilisateur s'approche d'un point d'intérêt. Cette technique s'appuie sur un tracking sans marqueur, basées sur les formes géométriques de l'environnement.

Après avoir testé l'application dans son environnement, les utilisateurs semblent apprécier de pouvoir personnaliser l'affichage des points d'intérêts par catégorie, en fonction de leurs envies. La précision du GPS était moyenne (5 à 10m) mais suffisante pour guider l'utilisateur à travers le parc. Par contre le edge tracking semblait rapidement montrer ses limites quand l'utilisateur ne pointait pas la caméra avec le même angle de vue que celui attendu par le système.

Dans le futur, le parc devrait être équipé de balises permettant la triangulation et donc la localisation précise de l'utilisateur. Cela améliorera le guidage mais également l'identification du monument pointé par l'appareil.

Cyberarchaeology : Improved Way Findings for Archaeological Parks Through Mobile Augmented Reality [3]

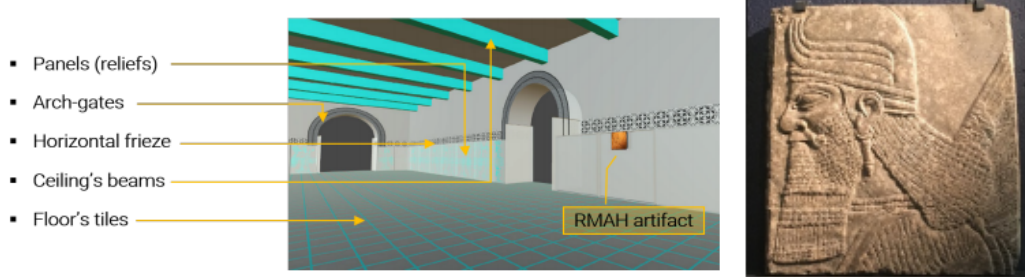
Domaine / Lieu / Année	Tourisme / Suisse / 2016
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Localiser et s'informer sur les POI
Affichage	P : oui / 2D / DI : faible
Interaction	Clique sur tactile pour afficher les infos

FIGURE 3.3: Différents POI et leur distance.



3.2.4 Heritage Museum

Cette étude a été réalisée au musée Royal de l'art et de l'histoire à Bruxelles. Dans une pièce du musée consacrée aux œuvres mésopotamiennes se trouve une gravure du palais assyrien (Irak). Il s'agit de la tête d'un génie ailé. Elle a été récupérée par un archéologue anglais qui fut le premier à découvrir la pièce « S » du palais. Celui-ci avait minutieusement décrit la pièce et emporté plusieurs petites parties de gravures qui recouvraient l'entièreté des murs. Entretemps (en 2015) le palais a été entièrement détruit par les extrémistes. La gravure présente au musée est donc une infime partie de ce qui était présent dans le palais. Une application de réalité augmentée a été développée afin de permettre aux visiteurs de situer la petite gravure au sein de son contexte original. Une étude a ensuite été menée afin de comparer les connaissances acquises par les visiteurs en lisant les annotations ou en employant l'application. Il en ressort que via l'application, ceux-ci ont pu décrire beaucoup plus facilement le contexte original de la gravure.



Architectural Contextualization of Heritage Museum Artifacts Using Augmented Reality [4]

Domaine / Lieu / Année	Tourisme / Belgique / 2018
Support	Tablette
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Reconstitution de l'environnement d'origine de la gravure
Affichage	P : oui / 3D / DI : faible
Interaction	suivi du mouvement + tactile

3.2.5 Projected AR intelligent model

Cet article décrit une application d'algorithme d'intelligence artificielle qui résout le problème « voyageur de commerce » dans un modèle de Réalité Augmentée projetée. Ce modèle est réalisé par de la projection vidéo sur un modèle 3D d'une portion de la ville de Coimbra au Portugal.

Les informations géographiques du site sont récupérées sur « openstreetmap » et importées dans un logiciel de 3D. Une modèle en bois de la ville est ensuite réalisé à la découpe lazer et peint en blanc. Ce modèle 3D est importé dans Unity où l'algorithme est implémenté. Une interface utilisateur est également disponible par le biais d'une application.

Pour les tests, un projecteur est fixé 2 mètres au-dessus de la maquette sur une structure métallique. La maquette d'environ 75X50cm contient un quartier résidentiel, des commerces, une école, ...

Le problème du « voyageur de commerce » est un problème classique d'IA qui a pour but de trouver un chemin si possible optimal, pour un voyageur partant d'un point donné et devant visiter un certain nombre d'endroits. Les différents points sont choisis via l'application, puis l'itinéraire calculé est projeté sur la maquette. Ce système peut avoir de multiples applications comme des affichages interactifs dans les musées ou une aide visuelle pour les offices du tourisme mais il pourrait également permettre un monitoring en temps réel d'opérations de protection civile ou militaire.



Des travaux futurs pourraient être envisagés pour ajouter des entités comme des piétons ou des voitures ou pour remplacer la maquette physique par une représentation holographique.

Projected Augmented Reality Intelligent Model of a City Area with Path Optimization [5]

Domaine / Lieu / Année	Tourisme / Portugal / 2019
Support	Projecteur sur maquette 3D
Metaphore / Marker	Magic projector / Markerless
But	Créer des parcours optimisés
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Via le pc, pas d'interactions "en direct"

3.2.6 Open cities EU

En serbie, une application en réalité augmentée a été mise en place dans le domaine des transports publics de la ville de Novi Sad. L'application fournit une méthode efficace pour accéder aux informations importantes sur l'heure d'arrivée du bus, le trajet emprunté par les différentes lignes et les sites touristiques à proximité de chaque arrêt. La bonne information est fournie grâce à la géolocalisation et aux images capturées par l'appareil photo du smartphone. Les bus sont équipés d'appareils de localisation et fournissent au serveur leur position en temps réel.

Ce projet a pour but d'améliorer la gestion des transports publics et d'encourager les usagers à abandonner leur voiture au profit des transports en commun. Il fait aussi gagner du temps et de l'argent aux voyageurs et aux autres parties prenantes comme les sociétés de transport, les gestionnaires de trafic et les administrations de la ville.

L'utilisateur télécharge l'application sur son smartphone et scanne le QR code situé sur l'arrêt de bus. Cela permet de le localiser plus précisément que le signal GPS de son smartphone, surtout si plusieurs arrêts sont proches l'un de l'autre. L'application donne le meilleur itinéraire à l'utilisateur en fonction de ses critères (plus court, plus rapide ou moins cher) tout en indiquant l'heure d'arrivée du prochain bus. Elle présente aussi les différents sites touristiques à proximité des arrêts et sur le trajet.

FIGURE 3.4: Affichage de l'arrivée du bus et d'info touristique sur l'arrêt de bus.



Plutôt que d'afficher une publicité statique sur l'arrêt de bus, la réalité augmentée offre à l'utilisateur un affichage dynamique d'informations sur les sites culturels ou touristiques à proximité. Le QR code de l'arrêt de bus est également utile afin que les informations ajoutées virtuellement soient posées au bon endroit par rapport à l'environnement.

De plus, le système permet de fournir des données pour différents services comme : l'état actuel du trafic les itinéraires les plus demandés et l'heure d'arrivée précise et en temps réel des bus

Augmented Reality based Smart City Services using Secure IoT Infrastructure [6]

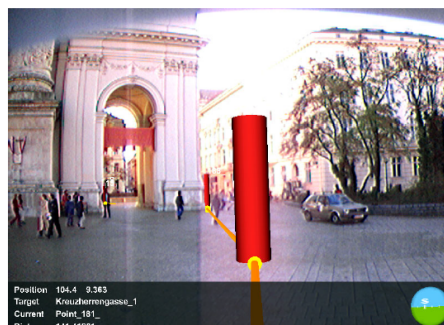
Domaine / Lieu / Année	Mobilité / Serbie / 2014
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Marker based
But	Facilité l'utilisation des t.p. + localiser POI
Affichage	P : oui / 2D / DI : élevée
Interaction	Ecran tactile smartphone

3.2.7 Collaborative outdoor

Un touriste est typiquement une personne qui a peu ou pas de connaissances de son nouvel environnement mais le touriste a un fort intérêt pour cet environnement et souhaite déambuler à travers la ville pour visiter les différentes attractions. C'est pourquoi une application de guide touristique semble être une bonne application de la réalité augmentée dans la ville de Vienne.

Le système offre deux fonctionnalités :

- La navigation : l'utilisateur spécifie une adresse ou un point d'intérêt comme un monument, un supermarché ou une pharmacie. L'appareil calcule alors l'itinéraire et l'affiche à l'utilisateur sous forme de cylindre représentant des points de passage reliés entre eux par des flèches. Tout cela suit le regard de l'utilisateur. Si celui-ci ne voit pas le prochain cylindre, c'est qu'il regarde dans la mauvaise direction. S'il y a plusieurs utilisateurs, différents mode d'interactions sont possibles :
 - Suivre le tracé d'un autre utilisateur
 - Guider un autre utilisateur en définissant soit même la route qu'il suivra
 - La rencontre entre plusieurs utilisateurs grâce à un point de rencontre à mi-chemin calculé par le système.
- La recherche d'informations : Ce mode présente à l'utilisateur des informations historiques et culturelles associées à ce qu'il regarde. Ces informations sont des images ou des textes issus de guides touristiques. De plus, l'utilisateur peut annoter lui-même son environnement en plaçant une icône et en y joignant le texte désiré. Ces annotations peuvent être partagées avec d'autres utilisateurs.



L'appareil utilisé est un casque sur lequel sont fixées des lunettes de réalité augmentée reliées à un pc portable dans un sac à dos. L'étude datant de 2003, le problème majeur était la précision du GPS souvent insuffisante et parfois même indisponible à cause des bâtiments. A nouveau, le smartphone pourrait être une alternative à ce prototype de lunettes.

Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing [7]

Domaine / Lieu / Année	Mobilité / Autriche / 2004
Support	PC + casque
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Se diriger à pied (vers POI ou autre utilisateur)
Affichage	P : oui / 3D / DI : faible
Interaction	Touchpad à la ceinture ou en main

3.2.8 In vehicule AR

L'utilisation de la voiture est en perpétuelle augmentation et le nombre d'utilisateurs « faibles » (piétons, cyclistes, trottinettes électriques, ...) augmente lui aussi. Ce qui accentue le risque d'accidents sur les routes. Avec les aides de plus en plus présentes dans les voitures, le conducteur doit traiter une foule d'informations en un laps de temps très court et parfois quitte la route des yeux. C'est pourquoi les « head-up displays » combinés à la Réalité Augmentée permettent d'afficher ces informations dans le champ de vision de l'utilisateur et si celles-ci sont pertinentes, elles peuvent être bénéfiques. Le système ne fait donc pas que détecter les dangers mais il peut en vérifier la probabilité et ne donner que les données utiles. Par exemples : afficher le panneau du passage piéton différemment si oui ou non il y a un piéton (un symbole plus grand si piéton), un véhicule à l'arrêt sera plus visible sur le système (symbole plus grand) car il représente un danger plus important qu'un véhicule qui suit le trafic.

Un système futur impliquant la communication entre les véhicules pourrait prévenir le conducteur d'un danger caché (derrière un tournant) avant même qu'il ne l'aperçoive.

In-Vehicle Augmented Reality Traffic Information System : A New Type of Communication Between Driver and Vehicle [8]

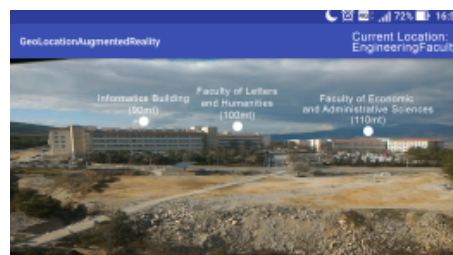
Domaine / Lieu / Année	Mobilité / Tunisie / 2015
Support	HUD
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Augmenter la sécurité en voiture (panneaux et obstacles)
Affichage	P : oui / 2D / DI : aucune
Interaction	Pas d'interactions

FIGURE 3.5: Caption



3.2.9 Smart Campus

Dans ce cas concret, la Réalité Augmentée est utilisée pour mettre en place un « Smart Campus » qui est un peu comparable à une mini « smart city ». Le but est de faciliter la localisation des différents bâtiments sur le campus et de donner pour chaque endroit les informations et actualités utiles.



L'utilisateur prend une photo avec son smartphone. Cette photo est traitée sur un serveur qui identifie le ou les bâtiments et renvoie à l'utilisateur une photo augmentée avec le nom du ou des bâtiments. En se basant sur la localisation du smartphone, l'application donne également la distance à parcourir et la direction à suivre pour s'y rendre. En cliquant sur le nom du bâtiment, l'étudiant a accès à des informations détaillées sur ce bâtiment et aux actualités qui s'y rapportent. Des icônes apparaissent également pour indiquer les points d'intérêt comme les distributeurs de billets, les endroits où manger, les facultés,...

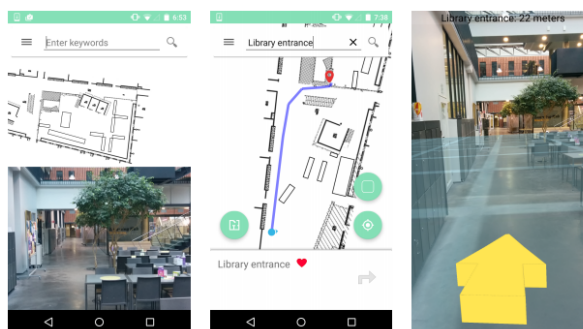
An Augmented Reality Application for Smart Campus Urbanization : MSKU Campus Prototype [9]

Domaine / Lieu / Année	Mobilité / Turquie / 2017
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Se localiser et s'informer sur le campus
Affichage	P : oui / 2D / DI : élevée
Interaction	Tactile smartphone

3.2.10 SeeNav

Seenav est une application de navigation en RA pour les environnements intérieurs tels que les centres commerciaux. Il s'agit d'une application qui utilise le tracking visuel sans marker et les capteurs inertiels. Le but étant également de diminuer la consommation d'énergie du téléphone. Les parties de calcul sont déléguées grâce à une architecture client/serveur. Le téléphone collecte les données visuelles et inertielles et fournit l'interface tandis que le serveur calcule l'itinéraire et construit les vues 3D.

Afin d'optimiser la consommation du téléphone, l'application calcule la position en utilisant simplement les capteurs inertiels et la localisation par la caméra ne se fait qu'à un certain intervalle. Après divers test, il s'avère que l'idéal est d'espacer un maximum l'intervalle pour réduire la consommation et d'ajouter des calculs en cas de rotation importante de l'utilisateur afin de conserver une bonne précision.



Une étude a été menée sur une vingtaine d'utilisateurs : 88% des participants trouvaient la précision assez bonne – 82% ont trouvé facile de se repérer grâce à l'application. Et même si 6% des personnes indiquaient avoir difficile à se localiser, tous sont arrivés à destination. En conclusion, la combinaison de la localisation visuelle et inertielle ainsi que l'architecture client/serveur ont permis une bonne précision et une faible consommation d'énergie.

SeeNav : Seamless and Energy-Efficient Indoor Navigation using Augmented Reality [10]

Domaine / Lieu / Année	Mobilité / Finlande / 2017
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Se diriger dans un centre commercial
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Tactile smartphone

3.2.11 City planning AR

L'expérience se passe dans un quartier de Miami où de nombreuses personnes âgées résident. Ce quartier comporte un chemin très peu utilisé car bruyant (à proximité d'une autoroute), peu sécurisé (peu fréquenté et en dehors des habitations) et pas adapté aux personnes âgées. Dans le but de redynamiser ce chemin, une étude a été réalisée auprès d'un panel d'habitants afin de connaître leurs envies quant au réaménagement de cet endroit.



Des casques RA Hololens ont été distribués aux résidents pour leur permettre de visiter l'endroit réaménagé selon un projet imaginé par la ville. Les habitants ont ainsi pu visualiser une séparation claire entre piétons et vélos, un mur anti-bruit en verre ou encore l'ajout de bancs publics, de toilettes et d'éclairage. Après discussion avec les intervenants, certains ont avoué avoir déjà participé à ce genre d'enquête sur simples photos et cela ne leur avait pas permis de se projeter dans la réalité avec autant de clarté et de précision.

City Planning with Augmented Reality [11]

Domaine / Lieu / Année	City planning / USA / 2020
Support	Casque RA (Hololens)
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Faciliter la représentation des futurs aménagements
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	suivi du mouvement, visite

3.2.12 Toronto

Les « smart cities » se développent de plus en plus et génèrent des données. Le but ici est de faciliter la visualisation de ces données. Ce projet est basé sur les hololens de microsoft . Une carte 3D de la ville est projetée sur une table sur laquelle le système vient dessiner sous forme de cubes les différentes données souhaitées. On obtient alors un graphique 3D projeté sur la ville et en un coup d'œil, l'utilisateur peut visualiser les données et leurs proportions comme le taux de criminalité, la démographie, le flux de circulation, les différentes gares, etc. par quartier.



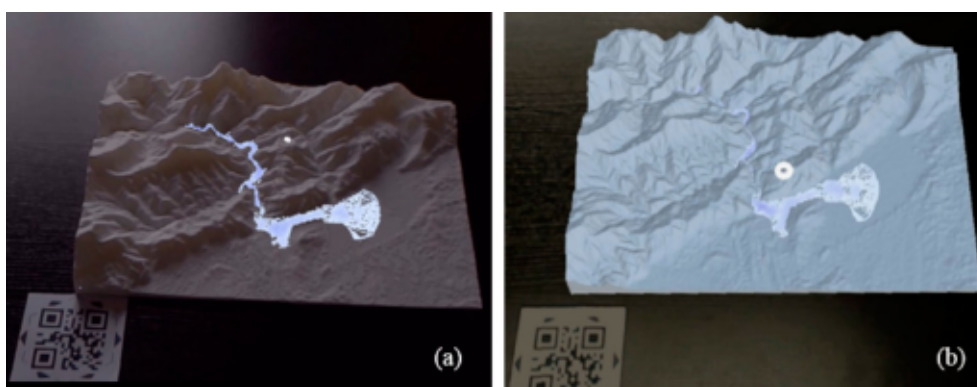
Le système a été comparé à une visualisation classique sur écran d'ordinateur. A part pour le temps réponse qui devait encore être optimisé, pour les autres paramètres comme l'interaction, la qualité visuelle et la flexibilité, c'est hololens qui a remporté la préférence des utilisateurs par rapport à l'écran d'ordinateur. Une autre difficulté réside dans la région limitée de détection des gestes.

Vizualizing Toronto City Data with Hololens [12]

Domaine / Lieu / Année	City planning / Canada / 2018
Support	Casque de RA (Hololens)
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Lire des données dans la vue 3D
Affichage	P : oui / 3D / DI : élevée
Interaction	Avec des gestes de la main

3.2.13 Flood AR

Dans certaines régions du monde, les inondations constituent un risque omniprésent. Comme dans de nombreux domaines, nous sommes de plus en plus aptes à mesurer et calculer différents scénarios. Ces calculs sont effectués par des experts qui ont l'habitude de lire les données sur des cartes en 2D ou sur des modèles 3D sur écran. Il n'est pas toujours évident pour monsieur « tout le monde » de comprendre ces représentations. C'est pourquoi cet article compare deux techniques de Réalité Augmentée permettant la visualisation de données scientifiques. La première consiste à visualiser à travers les lunettes la morphologie du terrain et, suivant les scénarios, les différents niveaux d'eau sont directement projetés dans le champ de vision de l'utilisateur. La deuxième fait apparaître, via les lunettes, les différents niveaux d'eau sur une maquette du terrain imprimée en 3D. Les tests montrent un léger avantage de compréhension avec la première technique de RA mais celle-ci s'avère beaucoup plus gourmande en performance.



An efficient flood dynamic visualization approach based on 3D printing and augmented reality [13]

Domaine / Lieu / Année	City planning / Chine / 2019
Support	Projecteur sur maquette 3D
Metaphore / Marker	Magic projector / Markerless
But	Faciliter la visualisation des risques d'inondation
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Pas d'interactions directes avec le système

3.2.14 Underground technic

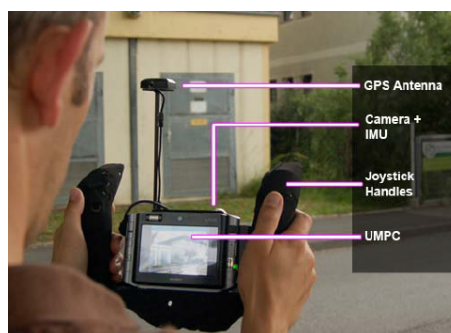
Les entreprises de services publics (électricité, gaz, internet, . . .) dépendent de systèmes d'informations géographiques (GIS) pour gérer leurs infrastructures souterraines. La méthode traditionnelle consiste à imprimer ces informations sur un plan papier ou de les consulter sur un ordinateur portable en 2D.

Afin de connaître l'endroit exact nécessitant une intervention ou dans un souci de sécurité, les travailleurs recherchent toujours le plus de précision possible. Un jugement précis à partir d'une carte et d'une position GPS nécessite une transposition mentale de la carte vers la réalité.

La réalité augmentée fournit une alternative aux plans 2D, elle permet de superposer une vue graphique 3D sur le champ de vision du travailleur et lui fournit ainsi une sorte de "vision à rayon-X" à travers le sol. Cela réduit les risques de dommages sur les installations souterraines lors des travaux. Combiné avec certains capteurs comme des détecteurs de gaz, cela permet de faciliter les diverses interventions comme la localisation d'une fuite de gaz.

Le système nécessitant une précision de localisation extrême et étant utilisé dans des environnements parfois dangereux, le développement d'un prototype spécifique a été nécessaire. Les composants principaux de l'appareil sont un écran, une antenne GPS et une caméra. Le premier prototype était composé de deux poignées avec un écran au milieu. Cela permettait de répartir le poids sur les deux mains et ainsi de limiter la fatigue pour une utilisation plus longue. Après une première session d'essais, il s'est avéré préférable d'avoir un appareil à une seule main pour pouvoir utiliser l'autre main à d'autres tâches.

FIGURE 3.6: Premier prototype, utilisation à deux mains.



Une version future proposera un meilleur système GPS car les tests ont révélé certaines zones mal couvertes, notamment les endroits entourés d'immeubles assez hauts. Cela devrait également augmenter la précision jusqu'à l'ordre du centimètre.

Handheld Augmented Reality for Underground Infrastructure Visualization [14]

Domaine / Lieu / Année	City planning / Autriche / 2009
Support	Prototype propre au projet
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Visualiser le sous sol
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Boutons, joystick, . . .

3.2.15 City planning system

Le projet propose un système de cityplanning en RA. Dans ce domaine une vue 3D des objets tels que bâtiments, arbres, etc. est importante pour voir comment ceux-ci s'agencent ensemble. Cela n'était possible qu'avec une vue 3D jusque-là réalisée à l'aide d'une maquette et la moindre modification était très couteuse en temps. La RA remplace cet outil et de plus permet des simulations d'éclairage, de météo, ... Le système fonctionne avec des lunettes, une table quadrillée de markers et des petits cubes avec un marker sur la face supérieure. L'environnement est projeté sur la table et les cubes sont remplacés par les objets (arbres, mobilier urbain, bâtiments).

Il est alors possible d'ajouter, d'enlever et de déplacer les différents objets en déplaçant le cube qui leur correspond.



A City-Planning System based on Augmented Reality with a Tangible Interface [15]

Domaine / Lieu / Année	City planning / Japon / 2003
Support	Head mounted Display
Metaphore / Marker	Magic lens / Marker based
But	Prévoir l'organisation du mobilier urbain
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	En déplaçant les plots, on déplace l'objet qui leur est lié

3.2.16 Square AR

Les espaces publics sont souvent négligés pendant des années puis les autorités décident de les rénover. Ces rénovations n'impliquent généralement pas les citoyens ou si c'est le cas seuls des plans 2D ou éventuellement des petites maquettes sont disponibles à la consultation. Pourtant l'implication des citoyens augmente leur satisfaction car ces changements peuvent affecter directement leur vie quotidienne. L'application décrite ici consiste en un outil de planification des espaces publics en RA. Sur base d'une photo aérienne, il permet à l'utilisateur



une manipulation rapide et simple d'objets 3D depuis 1 point de vue. Le but est de fournir aux personnes non familiarisées avec la technologie la possibilité de « designer » l'aménagement des lieux publics. Pour des raisons de budget, le projet est développé avec une simple webcam et un écran PC mais des lunettes fourniraient une meilleure immersion. Le système a été testé pour l'aménagement d'un square en Grèce. Les visiteurs de l'exposition pouvait visualiser et proposer des aménagements pour ce lieu.

Après avoir visionné le tutoriel, l'interface était plutôt intuitive et les principaux défauts relevaient le manque d'objets disponible (uniquement arbres, sol, arrêt de bus)

Square AR : Using Augmented Reality for urban planning [16]

Domaine / Lieu / Année	City planning / Grece / 2011
Support	Projecteur sur table avec marker
Metaphore / Marker	Magic projector / Marker based
But	Prévoir l'organisation du mobilier urbain
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Avec un clavier et une souris

3.2.17 Public participation urban planning

Quand il s'agit de questions urbanistiques, les citoyens montrent en général une certaine ignorance et ne participent pas aux enquêtes. Cet article se pose la question : comment rendre plus attractif et plus accessible la participation citoyenne aux enquêtes urbanistiques. En pointant son smartphone vers le building dont il est question, l'utilisateur voit apparaître une vue 3D du projet sur son écran. Il peut alors naviguer entre les différentes propositions et émettre un avis sous forme de smile pour chacune d'entre elles.



Des tests ont été menés et il en ressort que les participants les plus jeunes ont trouvé le système plus facile à utiliser. On constate aussi une plus grande motivation à participer aux enquêtes urbanistiques pour ce groupe de personnes (18-25 ans). Quelque soit la tranche d'âge, il en ressort que le système de visualisation 3D en Réalité Augmentée permet de plus facilement se projeter dans le futur quartier.

Smart-Phone Augmented Reality for Public Participation in Urban Planning [17]

Domaine / Lieu / Année	City planning / Nouvelle Zelande / 2011
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Marker less
But	Faciliter la participation citoyenne
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Tactile du smartphone (boutons)

3.2.18 Markerless vision based AR urban planning

Les autorités et les autres acteurs de la construction doivent pouvoir évaluer l'impact potentiel des développements urbains d'un point de vue esthétique, sécuritaire, faisabilité, ... Actuellement cette visualisation se fait généralement virtuellement. L'avantage de la Réalité Augmentée est la visualisation dans l'environnement réel plutôt que virtuel. L'article présente un système de Réalité Augmentée dans lequel l'environnement urbain est augmenté d'objets statiques et dynamiques comme des buildings et des individus. La caractéristique principale de ce projet est qu'il est « markerless » et ne repose sur aucune localisation ou capteur inertiel mais uniquement sur l'interprétation d'images digitales. De plus le système peut générer précisément l'insertion de l'objet virtuel dans l'environnement réel statique et fournir un résultat très réaliste.



Ce système fonctionne en 2 phases. La première, « offline » consiste à capturer la scène et à générer un ensemble de points en 3D ; s'en suit une deuxième phase « on live » dans laquelle les images sont traitées et la partie virtuelle est ajoutée à ces images. Le système a été testé dans plusieurs endroits urbains et donne de bons résultats malgré certains défauts :

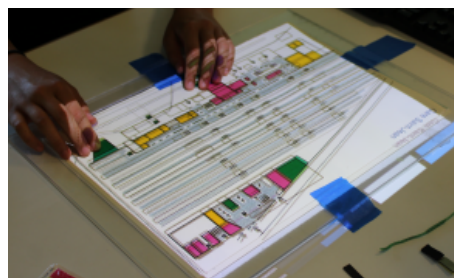
- L'implémentation actuelle du système ne permet que 3 FPS ; ce qui est trop peu pour être considéré comme un système « real time ».
- Le système ne repose pas sur des markers ou des capteurs ; ce qui le rend plus simple mais ces technologies pourraient l'améliorer.
- Le système est conçu pour des quartiers entiers mais il n'a pas été testé dans de si grands environnements
- La localisation par la vision est adéquate dans ce milieu urbain mais montre ses limites dans des milieux moins structurés comme des milieux plus naturels.

Markerless Vision-Based Augmented Reality for Urban Planning [18]

Domaine / Lieu / Année	City planning / Suisse / 2012
Support	Smartphone / tablette
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Afficher des projets immobiliers dans leur futur environnement
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Tactile du smartphone

3.2.19 Malvoyant carte 3D

Cette étude utilise la technique de la Réalité Augmentée « projetée » couplée à celle de la Réalité Augmentée « audio » pour personnes mal voyantes ou aveugles. On distingue deux modes possible : le mode exploration et le mode construction. Dans les deux cas, la lecture du plan est rendue possible par sa forme 3D et est agrémentée par un retour audio et éventuellement visuel (couleurs flashy et forte luminosité) pour ceux qui ont encore une faible perception visuelle. Un système de caméras permet de localiser les doigts de l'utilisateur sur le plan et peut ainsi le guider par des instructions vocales. Les deux modes de fonctionnement ont été testés par différentes personnes plus ou moins mal voyantes. Le mode « exploration » consiste à toucher la carte 3D, poser des questions et avoir des réponses précises de localisation (exemple : de quel côté se trouve l'entrée de la gare) Dans le mode « construction », les utilisateurs doivent eux-mêmes placer les éléments sur la carte via le touché de la carte 3D (exemple : placer le bar entre la boutique et la caisse).

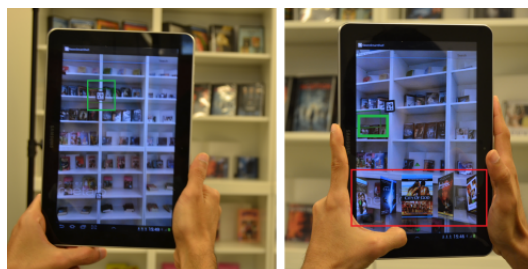


Towards a Multisensory Augmented Reality Map for Blind and Low Vision People : a Participatory Design Approach [19]

Domaine / Lieu / Année	Inclusion / France / 2018
Support	Projection sur carte en relief + audio
Metaphore / Marker	Magic projector / Markerless
But	Aider les malvoyants à lire et créer des cartes
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	En déplaçant les mains sur la carte

3.2.20 Motor disable AR

Les “smart cities” doivent être développées en incluant tous les citoyens, y compris les personnes à mobilité réduite qui rencontrent trop souvent des difficultés à voir ou attraper des objets placés trop hauts dans les magasins par exemple. Le système décrit ici se base sur un concept de « smart store » qui utilise la Réalité Augmentée avec marker sur les smartphones. Tous les produits d’un magasin, en l’occurrence dans notre exemple ce



sont des livres et DVD, sont équipés de TAG RFID. Les étagères sont, elles, équipées de marker de type QR code et de plusieurs antennes RFID permettant la localisation des articles. Les clients utilisent leur smartphone. Ils scannent le QR code et ont alors un aperçu global de tous les articles qui se trouvent sur l’étagère, même ce qui n’est pas dans le champ de vision de l’appareil photo. Il est ensuite possible d’obtenir des détails sur un article en particulier en sélectionnant l’article concerné dans l’application.

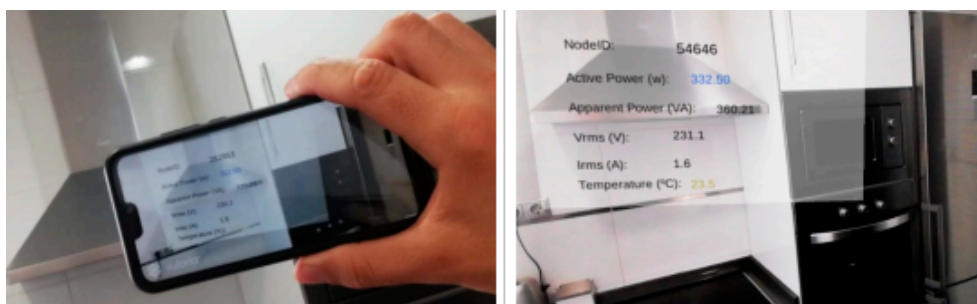
Cette application permet non seulement à tout un chacun d’obtenir plus d’informations sur un article bien précis, aux personnes à mobilité réduite de visualiser les articles des étagères supérieures et au gérant du magasin d’avoir un inventaire précis et localisé de tous ses articles.

Using Augmented Reality and Internet of Things to Improve Accessibility of People with Motor Disabilities in the Context of Smart Cities [20]

Domaine / Lieu / Année	Inclusion / Espagne / 2016
Support	Smartphone / tablette
Metaphore / Marker	Magec lens / Marker based
But	Permettre aux personnes en chaise de consulter les étagères trop hautes.
Affichage	P : oui / 3D / DI : élevée
Interaction	Avec le tactile

3.2.21 Energy visualization AR

Un des grands enjeux actuels de notre planète est de limiter notre impact environnemental en réduisant notamment notre consommation d'énergie. Une des grandes difficultés est de quantifier la consommation électrique de nos appareils et de se faire une idée de quels appareils sont les plus énergivores que ce soit en veille ou en fonctionnement. L'idée ici est d'utiliser la réalité augmentée au travers du smartphone pour afficher les données électriques mesurées (consommation, puissance, tension, ...) en pointant directement vers l'appareil en question. Grâce à une échelle de couleurs, l'utilisateur peut identifier immédiatement si l'appareil consomme plus ou moins d'énergie (bleu = faible consommation, vert = consommation normale et rouge = forte consommation). Ceci donne des indications plus parlantes que des mesures chiffrées pas toujours comprises du grand public.

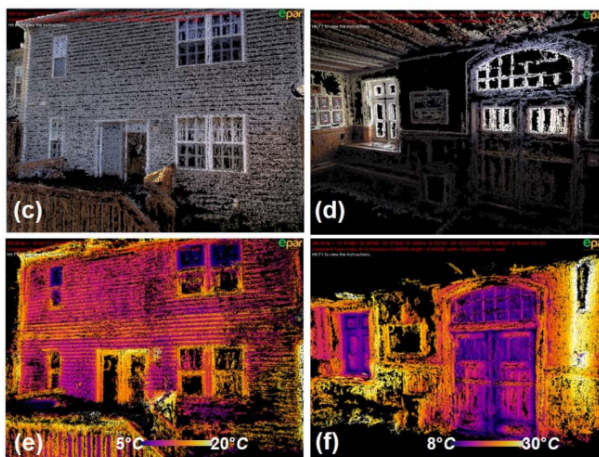


An IoT Based Mobile Augmented Reality Application for Energy Visualization in Buildings Environments [21]

Domaine / Lieu / Année	Environnement / Espagne / 2020
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Identifier les consommateurs d'énergie
Affichage	P : oui / 2D / DI : élevée
Interaction	Pointer la caméra vers les appareils

3.2.22 Caméra thermique

Aujourd'hui, l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments neufs ou existants est au centre de l'attention dans le domaine de la construction. Pour obtenir des buildings neutres en carbone, de nombreuses initiatives sont prises telles que l'utilisation d'énergies renouvelables et le remplacement des appareils électriques anciens. De plus, la qualité de l'isolation et les types de matériaux de construction utilisés sont des facteurs influents dans l'efficacité énergétique des bâtiments. En effet, des fuites d'air provoquent une perte d'énergie autant en chauffage l'hiver qu'en climatisation l'été. Pour mesurer cette perte, on utilise généralement des caméras thermiques. Celles-ci indiquent les variations de température sur la façade et permettent d'identifier un manque d'isolation, de la moisissure due à l'humidité ou encore des problèmes dans le système de chauffage. L'inconvénient de ces caméras est qu'elles génèrent des photos et qu'un audit complet d'un bâtiment devient vite une quantité énorme de photos à analyser. Une fois les anomalies repérées sur les photos, il faut faire le cheminement inverse et identifier à quel endroit du bâtiment se rapporte la photo.



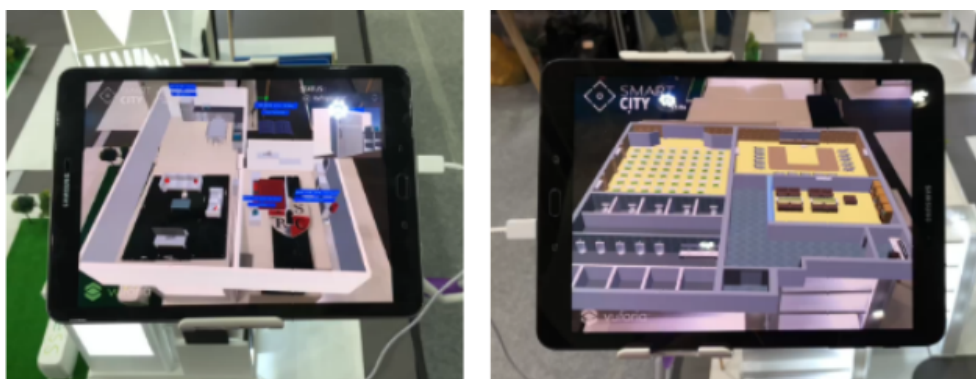
Le but de ce projet est de générer une vue en 3D du bâtiment et d'associer à chaque point de cette vue la température mesurée par la caméra thermique. En plus de fournir le modèle 3D le système est capable de détecter les anomalies et de les signaler à l'utilisateur. L'étape suivante qui doit encore être développée consiste à pouvoir chiffrer les pertes financières occasionnées par les défauts du bâtiment et ainsi inciter les propriétaires à faire des travaux de rénovation.

Automated Diagnostics and Visualization of Potential Energy Performance Problems in Existing Buildings Using Energy Performance Augmented Reality Models [22]

Domaine / Lieu / Année	Energie / USA / 2013
Support	Caméra thermique
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Identifier les pertes d'énergie dans les batiments
Affichage	P : oui / 2D / DI : aucune
Interaction	suivi du mouvement

3.2.23 Energy management system AR

Alors que la gestion de l'énergie devient de plus en plus importante, les systèmes de management d'énergie sont très populaires. Malheureusement, ces systèmes basés sur l'IOT contiennent énormément de données et sont difficiles à lire pour les non professionnels que sont les consommateurs. Des études montrent que dans les bâtiments équipés d'un système de gestion peu de gens savent les utiliser. Le but de cet article est de mettre en place une plateforme en Réalité Augmentée qui faciliterait la lecture de ces données. Des prises intelligentes ont été utilisées pour mesurer la consommation des appareils tels que télévision, frigo, air conditionné, etc. ainsi que des compteurs connectés. L'interface RA est développée par tablette ou smartphone android et montre aux utilisateurs la consommation des appareils, la production d'énergie renouvelable, etc. Afin d'adapter cela à une smart city, une maquette de démonstration a été réalisée avec des bureaux, des maisons, des shopping, ... En pointant l'application vers un bâtiment de la maquette, on a l'impression de voir à travers les murs et on peut contrôler si les lumières ou les climatiseurs sont en fonctionnement et ce que ces appareils consomment dans chacune des pièces des bâtiments de la ville.



Cet article présente donc un système de management d'énergie qui permet au consommateur et aux ordinateurs de converger naturellement sur base d'une interface intuitive. L'étape suivante est de transposer la maquette à la réalité de la ville.

Energy Management System Based on Augmented Reality for Human-Computer Interaction in a Smart City [23]

Domaine / Lieu / Année	Energie / Corée / 2019
Support	Smartphone / Tablette
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Identifier le gaspillage d'énergie dans les bâtiments
Affichage	P : oui / 3D / DI : faible
Interaction	Pointer l'appareil vers un building

3.2.24 Sitelens

Les urbanistes effectuent généralement des visites de site avant de commencer leur activité de design. Ces visites ont pour but d'avoir un ressenti de l'environnement, dégager des modèles et enregistrer un aperçu des endroits.

Prenons comme exemple une étude de concentration de CO dans une ville. La personne a à sa disposition une carte avec différents relevés localisés du taux de CO. Elle se rend ensuite sur place et prend des photos à chaque endroit où un relevé a été effectué. Elle peut ensuite analyser les différents facteurs qui peuvent influencer la pollution par rapport aux éléments de la photo.

Ce processus révèle plusieurs problèmes :

- Certains aspects ne peuvent pas être vus comme la qualité de l'air ou le niveau de CO mais ils sont pourtant importants pour la santé et l'environnement.
- La carte des relevés et les photos sont deux entités distinctes que l'utilisateur doit mentalement mettre en relation.
- Des photos ou même des vidéos peuvent ne pas représenter la dynamique de l'environnement.

Sitelens a été conçu pour répondre à ces problématiques. L'appareil utilisé ressemble à la définition actuelle d'un smartphone. A savoir un écran assez grand, une caméra, un accéléromètre et un GPS. Afin de se localiser avec la plus grande précision, l'appareil utilise en plus de l'accéléromètre et du GPS, des sortes de TAG ressemblant à des QR codes. Le système permet alors d'afficher en réalité augmentée des données localisées. Dans notre exemple, le taux de CO à chaque endroit de relevé sera représenté dans le champ de vision de l'utilisateur par un élément graphique (sphère(a), cylindre(b), fumée(c)).



Des tests ont été réalisés à Manhattan et ils ont permis de déceler un lien entre le niveau de CO et le fait que les voitures sont à l'arrêt moteur en marche. Cela n'aurait pas pu être décelé avec une photo de l'environnement au moment du relevé.

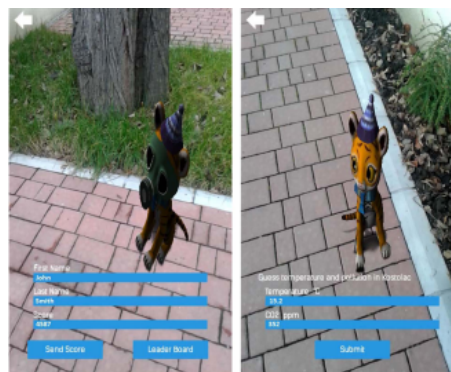
Le point négatif principal soulevé par les utilisateurs est le contraste entre le côté instantané de l'environnement perçu en direct et le côté temporel statique du relevé. Ceci pourrait faire l'objet d'une future version de l'appareil avec des relevés réalisés en direct grâce à des capteurs intégrés au système.

SiteLens : Situated Visualization Techniques for Urban Site Visits [24]

Domaine / Lieu / Année	Pollution / USA / 2009
Support	Ultra mobile PC
Metaphore / Marker	Magic lens / Marker based
But	Afficher des mesures comme la pollution dans la ville
Affichage	P : oui / 3D / DI : aucune
Interaction	Avec des boutons et en dirigeant la caméra.

3.2.25 Air Quality

De plus en plus de gens migrent vers les villes. Ce qui induit plus de déplacements, plus de constructions, etc. et donc plus de pollution. Le point de départ pour combattre ces problèmes environnementaux est la conscientisation des citoyens. Cet article présente un moyen de faire prendre conscience à tout un chacun du degré de pollution de l'air à un endroit bien précis et de son influence sur notre planète via un « jeu sérieux » qui combine à la fois l'effet ludique et éducatif. Ce jeu est basé sur un petit avatar en Réalité Augmentée qui se déplace et dont la tenue vestimentaire s'adapte à la température et au taux de CO2 dans l'air. Ainsi, notre petit bonhomme sera tantôt muni d'une écharpe et d'un bonnet, tantôt de lunettes de soleil, tantôt d'un masque à gaz, ... En fonction de la tenue de l'avatar, l'utilisateur peut deviner la température et le degré de pollution dans l'air là où il se trouve et en tirer les conclusions.



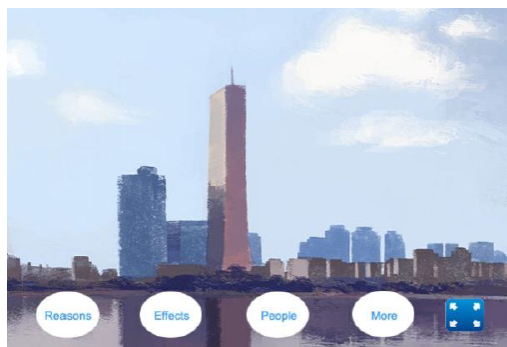
Après évaluation, la majorité des utilisateurs ont trouvé l'application « amusante » et « éducative » et leur ont fait prendre conscience des problèmes environnementaux de manière plus précise.

Engaging Citizen Communities in Smart Cities Using IoT, Serious Gaming and Fast Markerless Augmented Reality [25]

Domaine / Lieu / Année	Pollution / Serbie / 2015
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Sensibiliser sur la pollution de l'air en jouant
Affichage	P : oui / 3D / DI : faible
Interaction	Tactile du smartphone

3.2.26 Fine dust AR

La réalité augmentée est à la mode dans de nombreux domaines : marketing, éducation, divertissement, etc. Elle contribue à améliorer la façon dont l'information est perçue en comparaison à des médias papiers tels que les images statiques et le texte. Le résultat donne une expérience plus interactive qui améliore et enrichit la perception de l'utilisateur. Cette technologie peut également être utile pour créer des annonces de services publics.



Ce projet concerne les dangers des particules fines et leur impact sur notre santé. Les particules fines sont définies comme des particules inférieures à 2,5 microns ayant un effet néfaste sur la santé et plus particulièrement sur les poumons et le cœur. De nos jours, la pollution augmente et présente un danger significatif surtout dans les grandes villes asiatiques. Le projet est basé sur une application mobile. Via cette application les utilisateurs scannent des objets ou des photos (panneaux de signalisation d'un pic de pollution) ce qui déclenche une vidéo sur les méfaits de la pollution. L'application propose ensuite de donner plus d'informations avec des images et des vidéos.

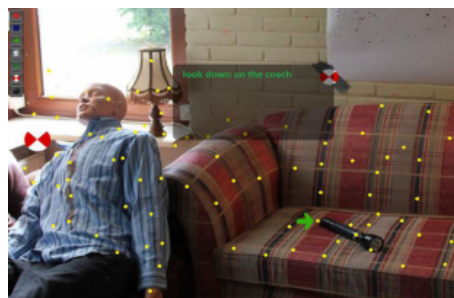
Les alertes environnementales n'ont pas uniquement pour but d'informer mais elles doivent également déclencher des changements de comportement chez l'utilisateur. Après avoir mené une petite étude, 60% des utilisateurs ont préféré cette alerte interactive à une alerte statique car elle a plus d'impact sur l'apprentissage et le changement de comportement.

Fine Dust in Augmented Reality : Creating Public Service Announcement [26]

Domaine / Lieu / Année	Pollution / Corée / 2014
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Sensibiliser sur la pollution de l'air
Affichage	P : oui / 3D / DI : faible
Interaction	Orientation de la caméra + tactile

3.2.27 AR in security

Cette étude est basée sur un système de Réalité Augmentée appliqué aux différents services de sécurité. Il a été testé avec la police mobile, les pompiers et la police scientifique. Le policier en intervention sur le terrain porte des lunettes de réalité augmentée équipées d'une caméra. Son collègue peut ainsi le suivre en direct à distance (au bureau ou dans un fourgon à proximité) et placer des repères dans le champ de vision du policier mobile afin de mettre en évidence un danger dans le cadre d'une intervention ou une potentielle preuve dans le cadre d'une enquête. De même l'utilisateur des lunettes peut aussi placer des repères pour par exemple préparer la visite future d'un collègue. Le tout étant enregistré, cette technique permet une « revisite virtuelle » de la scène plus précise que sur base de simples photos.



Providing Information on the Spot : Using Augmented Reality for Situational Awareness in the Security Domain [27]

Domaine / Lieu / Année	Sécurité / Pays Bas / 2015
Support	Lunettes
Metaphore / Marker	Magic lens / Markerless
But	Faciliter le travail sur le terrain
Affichage	P : oui / 2D / DI : élevée
Interaction	suivi du mouvement + geste de la main

3.2.28 Onsite building info

Ce projet a pour but de répondre à une des plus grande problématique sur les chantiers : la lecture des plans. Pour de gros chantiers comme des immeubles, un modèle BIM (Building Information Modeling) est généré. Il s'agit d'un modèle 3D ultra détaillé du futur bâtiment. Il permet aussi bien une vue générale de l'édifice qu'une vue très détaillée montrant par exemple l'emplacement d'une prise de courant. A partir de ce modèle, il est possible de sortir différents plans pour les différents corps de métier mais ils ne sont pas toujours pratiques à transporter sur le terrain, sont encombrants, peuvent être perdus ou déchirés,... Le système proposé est constitué d'un casque de chantier équipé d'un Ipod touch et d'un projecteur. Celui-ci permet à l'utilisateur de visualiser le BIM et ensuite de zoomer sur les différentes étapes, les différentes pièces, les différents murs et même les différents éléments techniques.



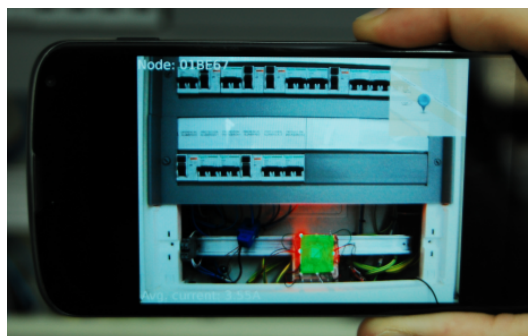
Des tests ont été menés en posant quelques questions à propos d'un chantier. En demandant aux différents corps de métier d'utiliser soit le projecteur, soit les plans papier, il en ressort que le projecteur permet de gagner du temps.

On-Site Building Information Retrieval by Using Projection-Based Augmented Reality [28]

Domaine / Lieu / Année	Construction / Taiwan / 2012
Support	Prototype de casque de chantier avec projecteur
Metaphore / Marker	Magic projector / Markerless
But	Projeter des plans ou informations techniques
Affichage	P : oui / 2D / DI : faible
Interaction	Avec le tactile du smartphone posé sur le casque

3.2.29 IoT services

Un des grands aspects de la smart city est l'internet des objets et la multitude de données générées par des capteurs. Cet article se concentre sur l'utilisation de ces données par une application de réalité augmentée dans le cadre de la maintenance des infrastructures. La plupart des applications en réalité augmentée se basent sur la position GPS ou sur des QR codes accédant à des ressources Web. Etant donné la position généralement souterraine des infrastructures comme les tableaux électriques, le positionnement GPS ou la connexion internet sont généralement indisponibles. Le but de cet article est donc de fournir un moyen de communication directe entre le tableau électrique et le smartphone de l'utilisateur. Pour ce faire, un système de Led clignotant à une certaine fréquence et capturée par la caméra du smartphone a été mis en place. Ce qui permet une transmission directe des données essentielles éventuellement agrémentées d'informations supplémentaires si une connexion internet est disponible.



En bas de l'image le système de 8 Led qui fournit l'identification du panneau (en haut à gauche) et le courant (en bas à gauche). Grâce à la connexion internet une carte est également affichée en haut à droite.

Providing IoT Services in Smart Cities through Dynamic Augmented Reality Markers [29]

Domaine / Lieu / Année	Maintenance de la ville / Espagne / 2015
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Marker based
But	Faciliter le travail dans les tableaux électriques
Affichage	P : oui / 2D / DI : faible
Interaction	Scan des markers dynamiques et tactiles du smartphone

3.2.30 SC paradigm

La ville de Santander a rapidement pris en marche le train de la smart city. Elle a pour ce faire mis en place des milliers de capteurs de bruit, de température, de lumière, de CO, etc. Ont ensuite été ajoutés des stations météo, des capteurs de présence sur les places de parking ainsi que des capteurs de pollution et de localisation sur les transports publics. Etant donné la complexité de consultation des données générées, une application RA a été mise en place basée sur la localisation de l'utilisateur mais également sur des QR codes et des tags NFC. Elle permet de fournir les bonnes informations au bon moment.



En plus de cela, l'application permet également de fournir aux citoyens des informations via des photos ou vidéos. Par exemple : s'il remarque un trou dans le trottoir, il peut le publier sur l'application et cela prévient les autres utilisateurs ainsi que les autorités communales qui peuvent prévoir la réparation. L'application reprend également les différents sites touristiques de la ville et permet donc également une utilisation pour les touristes.

Engaging individuals in the smart city paradigm : participatory sensing and augmented reality [30]

Domaine / Lieu / Année	Smart City / Espagne / 2014
Support	Smartphone
Metaphore / Marker	Magic lens / Marker based
But	Affichage des infos de l'IoT : transport, météo, sites touristiques,...
Affichage	P : oui / 2D / DI : élevée
Interaction	Avec les tactiles et en scannant les QR codes

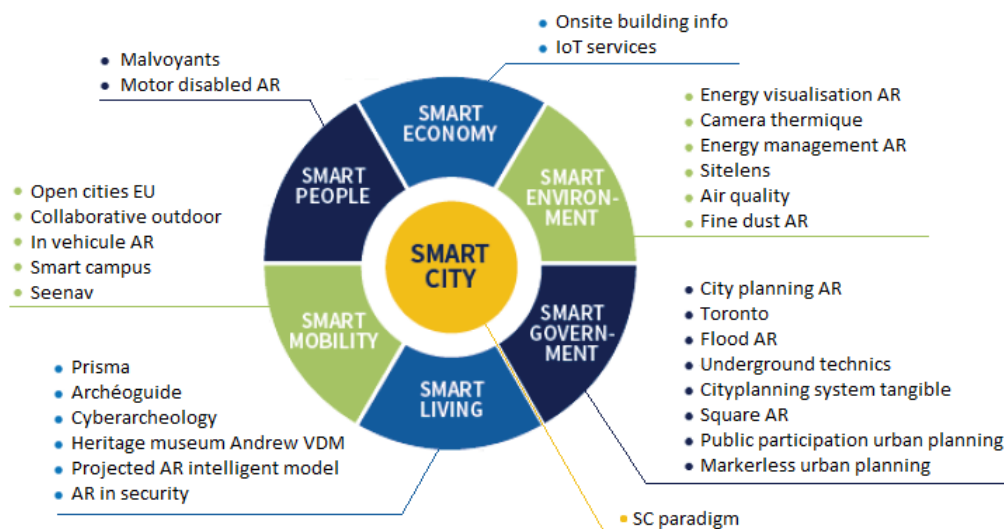
Chapitre 4

Observations

4.1 Introduction

Cette partie contient mes observations sur les articles sélectionnés en comparant différents critères. J'ai d'abord classé les projets dans les différents domaines de la smart city. Je les ai ensuite situés dans le temps et dans l'espace. Enfin, j'ai analysé les différentes technologies utilisées et la manière dont l'utilisateur interagit avec le système.

4.2 Les domaines



La manière la plus évidente de classer les différents articles est de les répartir dans les six domaines de la smart city. Bien que chaque article appartenait à un domaine spécifique, « Sc Paradigm » ne rentrait pas dans une seule case mais concernait aussi bien l'environnement, le tourisme et la mobilité.

Certains domaines semblent plus représentés que d'autres comme par exemple la smart gouvernance avec un grand nombre de projets dans le domaine de l'urbanisme. En effet, la technologie de la réalité augmentée permet une visualisation plus concrète des projets d'aménagement ou de construction et facilite ainsi la participation citoyenne aux enquêtes concernant l'urbanisme, point important dans le développement d'une smart city.

Domaine très à la mode ces dernières années, l'environnement est très représenté également. Ici, la réalité augmentée permet soit une approche plus ludique des problèmes environnementaux, soit une facilité de représentation des mesures comme la pollution. Le caractère de plus en plus problématique de la pollution dans les villes et de la gestion des ressources se confirme par des projets plutôt récents dans ce domaine.

Les domaines de la mobilité et du tourisme ne sont pas en reste et sont parfois présents simultanément dans un même projet. En effet, ils visent tous les deux un large public et le touriste a généralement besoin d'aide pour ses déplacements (localisation des sites touristiques et moyens de transport pour y accéder) dans une ville qu'il découvre pour la première fois. Bien que parfois un peu « gadget » dans tout ce qui est mobilité, la réalité augmentée prend tout son sens quand il s'agit de site touristique de type archéologique. Elle permet notamment une visite virtuelle d'édifices actuellement en ruines ou détruits comme ils existaient à l'origine. Au vu des dates de parution de certains articles, ces domaines semblent être des pionniers dans l'intégration de la réalité augmentée au cœur de la smart city.

Au contraire, certains domaines semblent être plutôt des niches comme des projets spécifiques à des milieux professionnels par exemple la construction ou la sécurité. On retrouve donc moins d'articles dans ces milieux mais cela peut s'expliquer par le côté plus secret. La sécurité découle généralement de technologies militaires. Dans les milieux professionnels, la concurrence est rude et les nouvelles technologies sont bien gardées afin de conserver une longueur d'avance sur les concurrents.

Enfin, un domaine malheureusement peu représenté est celui du bien-être social et plus particulièrement de l'inclusion. Et pourtant, la réalité augmentée peut offrir de nombreux avantages quand il s'agit de rendre de l'autonomie à des personnes qui en ont moins de par un handicap.

4.2.1 Smart Living

Le domaine « smart living » est représenté par les sous-domaines de la santé, la sécurité et la culture.

La santé est un sous-domaine non représenté ici car même s'il existe beaucoup d'applications de Réalité Augmentée dans le domaine médical, cela ne semblait pas faire partie de la smart city en tant que telle. Je n'ai donc volontairement pas exploré ce sous-domaine. La réalité augmentée en médecine pourrait faire l'objet d'un travail à part entière.

La sécurité est un sous-domaine qui a malheureusement besoin de plus en plus de moyens. En effet, l'explosion démographique des villes participe à l'augmentation du sentiment d'insécurité. Ce sous-domaine semble être très important aujourd'hui dans une smart city et est en constante évolution mais il est peu représenté en terme d'articles car son importance était moindre dans le passé. De plus, dans les milieux comme la police où chaque fait et geste est régi par une procédure, l'adoption de nouvelles technologies est plus lente. Enfin, entre les technologies issues du monde militaire, la protection de la vie privée et la sécurité des policiers, les innovations dans ce sous-domaine ne peuvent probablement pas être dévoilées au grand public.

Le sous-domaine de la culture avec les musées, les sites archéologiques et le tourisme est le plus représenté. La réalité augmentée est une manière ludique d'attirer un public plus jeune dans les musées. Elle est incontournable en archéologie notamment

pour la reconstitution de sites anciens et permet une immersion dans le passé. La réalité augmentée est une sorte d'évolution logique et chronologique de l'audioguide. La popularisation du smartphone supprime le coût matériel pour le musée même si une application doit être mise en place. Il existe également des applications à double fonctionnalité tourisme/mobilité qui facilitent grandement la vie des touristes.

4.2.2 Smart Government

Le domaine « smart government » reprend tout ce qui est lié à la gouvernance avec des sous-domaines comme les services en ligne, la participation citoyenne et l'urbanisme.

L'accès à de nombreux services en ligne est une des clés de la smart city. Il est par contre difficile d'y retrouver de la Réalité Augmentée. Je pense en effet qu'il n'y a aucun intérêt à utiliser de la réalité augmentée pour une demande de document officiel ou de carte d'identité mais qui sait peut-être qu'un jour les administrations y auront recours.

Dans le cadre d'une enquête publique, la réalité augmentée apporte une grande simplicité de compréhension par rapport à des plans 2D et une visualisation réelle en 3D. Cette facilité d'imaginer un projet dans l'espace augmente considérablement la participation citoyenne. En effet, il n'est pas possible à tout public de lire des plans architecturaux par contre quiconque peut enfilez des lunettes ou prendre un smartphone peut ainsi visualiser une image réelle du projet. De plus, l'utilisation d'une application via un smartphone augmente le nombre de participants à une enquête urbanistique puisque dans ce cas, les citoyens ne doivent pas se rendre physiquement à une administration.

4.2.3 Smart Environment

Le domaine « smart environment » est subdivisé en trois sous-domaines : la gestion des ressources, la pollution et l'aménagement d'espaces verts.

Afin de préserver au mieux l'environnement, nous tentons de produire de plus en plus d'énergies renouvelables. Ces types d'énergie sont disponibles en moins grandes quantités et il est donc nécessaire de réduire notre consommation d'énergie. Dans ce sous-domaine, la réalité augmentée est un outil incontournable que ce soit au niveau de la consommation énergétique des bâtiments, de la consommation de l'éclairage public ou de la consommation des divers appareils électroménagers.

La grande problématique des villes surpeuplées est la pollution comme on le voit déjà dans les grandes villes asiatiques. Pour combattre cette pollution, c'est toute la population qui doit être sensibilisée. Pour ce faire, il existe des applications de Réalité augmentée qui permettent de conscientiser les individus de manière ludique et principalement les plus jeunes qui seront les citoyens de demain. D'autres applications scientifiques permettent une visualisation plus immersive des relevés de pollution dans la smart city.

La création d'espaces verts peut également contribuer à diminuer la pollution dans les centres urbains. Dans le sous-domaine de l'urbanisme, plusieurs articles portaient sur la création d'espaces verts. Je les ai classés dans le sous-domaine de l'urbanisme car le but premier était l'aménagement du territoire dans la smart city.

4.2.4 Smart mobility

La smart mobility privilégie les transports en commun et les déplacements verts.

Que ce soit en intérieur ou en extérieur, il existe de nombreux projets RA qui accompagnent les piétons dans leurs déplacements. A l'intérieur, dans des centres commerciaux, à l'extérieur dans des endroits plus clos comme des campus, ou dans l'entièreté d'une ville, ces projets facilitent l'orientation surtout pour les personnes qui n'ont pas l'habitude de lire une carte.

En plus des directions, les projets de réalité augmentée offrent également des informations pratiques comme les horaires d'ouverture, des explications sur les bâtiments, etc.

D'autres articles sont axés sur les transports en commun. Ils montrent comment la réalité augmentée donne une meilleure lisibilité des horaires et des itinéraires des bus, trams, trains, etc. et facilite les connexions entre ceux-ci. Le développement de ces projets permet une plus grande utilisation des transports en commun et une diminution de l'usage de la voiture, cause de pollution et d'embouteillages dans les villes.

Enfin, il existe quelques projets de réalité augmentée au sein même de la voiture qui permettent d'augmenter la sécurité et de diminuer le nombre d'accidents. A nouveau, il s'agit de la réalité augmentée dans un véhicule, véhicule qui circule dans la ville mais pas directement de la réalité augmentée dans la smart city.

Je n'ai pas d'article sur la réalité augmentée utilisée par les cyclistes même si le vélo est le transport de demain dans la smart city. Je pense que l'utilisation d'un smartphone sur un vélo est beaucoup trop dangereuse mais avec la popularisation des lunettes de réalité augmentée, peut-être que des applications pourraient voir le jour. Il faut aussi tenir compte que la vitesse de déplacement du cycliste est plus élevée que celle du piéton et donc une application plus réactive sera nécessaire.

4.2.5 Smart economy

La smart economy reprend tout ce qui concerne les activités économiques comme la productivité, l'innovation ou encore l'esprit d'entreprise. J'ai choisi de classer ici mes articles propres à des milieux professionnels car ces projets ont pour but d'augmenter la productivité et sont une source d'innovation dans leur domaine. Je me suis limité à des projets de réalité augmentée dans le bâtiment car les bâtiments constituent la ville. D'autres articles sur la productivité notamment semblaient s'éloigner du sujet.

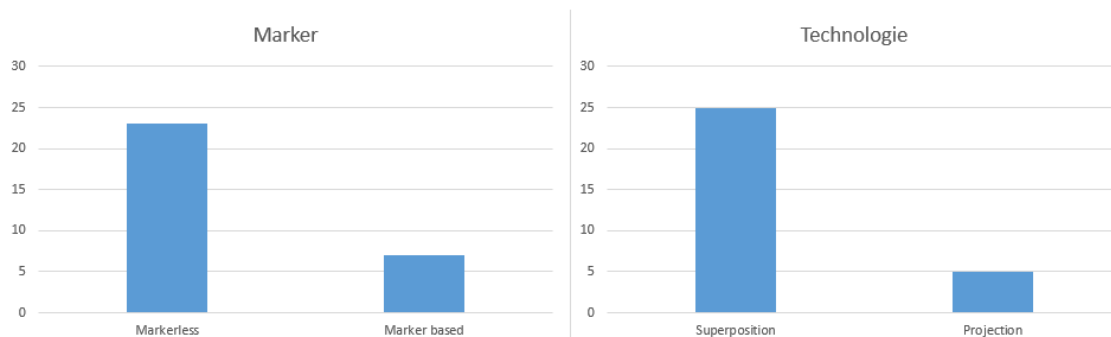
4.2.6 Smart People

La smart people traite de l'inclusion et de l'éducation (formation).

Un sous-domaine malheureusement peu représenté est celui du bien-être social et plus particulièrement de l'inclusion. Et pourtant, la réalité augmentée peut offrir de nombreux avantages quand il s'agit de rendre de l'autonomie à des personnes qui en ont moins de par un handicap.

Le sous-domaine de l'éducation au sens formation est bien représenté mais de nouveau la réalité augmentée intervient au niveau des cours donnés au sein de l'école pour aider à l'apprentissage et ne se rapporte pas directement à la smart city. C'est pourquoi je ne m'y suis pas attardé.

4.3 Technologie



Une autre manière de comparer les articles, est la technologie utilisée, que ce soit au niveau des "marker", utilisés ou non, ou au niveau de la technique de superposition ou de projection.

Sur l'ensemble des articles, il ressort que la technologie « markerless » est la plus répandue. En effet, celle-ci ne nécessite pas d'aménagement physique de l'environnement. Il semble que l'avancée technologique dans des domaines comme l'analyse vidéo rend la technologie « marker based » de plus en plus obsolète. On retrouve plutôt celle-ci dans les projets plus anciens.

Les projets basés sur la superposition dominent clairement par rapport à la projection. La projection, bien que très pratique dans le cadre d'une smart city car elle permettrait de toucher un grand nombre d'utilisateurs simultanément sans que ceux-ci ne doivent être équipés individuellement (smartphone, lunettes, ...), est peu mise en place.

La popularité du smartphone atténue grandement l'avantage de l'équipement des utilisateurs. Par contre la projection en extérieur dans une ville nécessite du matériel de pointe. Le choix de la superposition avec un smartphone ou plus récemment les lunettes hololens semble finalement un choix « de facilité matérielle ».

4.4 Interaction

Dans les différents projets, j'ai décidé de faire ressortir la manière avec laquelle l'utilisateur interagit avec le système :



Tactile : 10



Suivi du mouvement : 9 dont :



Suivi du mouvement + tactile : 3



Suivi du mouvement + boutons : 1



Suivi du mouvement + gestes : 1



Clavier / souris : 2



Gestes : 2



Pas d'interactions : 2



Touchpad : 1



Boutons, joystick : 1



Déplacement de plots : 1

Sans surprise, la manière la plus répandue d'interagir avec le système est le tactile. Effectivement, dans mes observations sur les technologies, de nombreux projets sont basés sur des smartphones ou tablettes. Dans ce cas, le tactile est un moyen incontournable d'interagir.

Dans certains projets, on retrouve également le tactile en complément du suivi du mouvement. En effet, la technique du suivi du mouvement est très immersive mais ne permet pas toujours suffisamment d'interactions, surtout dans les cas où il faut sélectionner des options ou parcourir des menus. Dans ce cas, une interaction via des boutons, des gestes ou du tactile doit être ajoutée. Par contre, dans le cas de visites virtuelles, avec des lunettes par exemple, le "simple" suivi du mouvement offre une grande facilité d'utilisation.

Certains projets ne nécessitent aucune interaction comme par exemple le HUD dans la voiture.

Certains projets, souvent plus anciens ou non destinés au grand public, sont basés sur des interactions plus traditionnelles comme le clavier et la souris du PC ou des boutons et joystick.

Enfin, on retrouve des manières d'interagir plus originales comme le déplacement de plots qui permet de déplacer les objets augmentés. Cette technique est peu utilisée mais semble pourtant très intuitive et mériterait qu'on s'y attarde plus.

Le tactile, en plus de sa facilité d'utilisation (affichage en temps réels des noms sur les "boutons") est devenu une manière incontournable d'interagir. Aujourd'hui, pratiquement tout le monde a un smartphone ou une tablette et on retrouve du tactile partout (distributeurs de billets, caisses automatiques, bornes de paiement,...). C'est donc un moyen d'interagir qui ne nécessite aucune adaptation, il est devenu naturel. Il apporte également un côté ludique, surtout pour le jeune public. Pour moi, le tactile est actuellement LA manière d'interagir, car la plus répandue, la plus facile et la plus efficace.

Une autre manière d'interagir que je trouve intéressante est le suivi de mouvement. En utilisant le smartphone ou la tablette, on se rapproche des mouvement que l'on a l'habitude de faire lorsqu'on prend des photos. En utilisant des lunettes de réalité augmentée, la vision suit le mouvement de notre tête, voilà quelque chose de tout à fait naturel. L'inconvénient de cela est l'interaction limitée proposée, on ne peut finalement que "visiter" sans réellement interagir avec le système. C'est pourquoi, le suivi de mouvement est parfois accompagné d'un deuxième moyen d'interagir.

Dans ce cas, je pense que les gestes sont à privilégier s'il s'agit d'une utilisation régulière. En effet, les gestes nécessitent un apprentissage, même s'ils sont développés pour être les plus naturels possible, pour une action donnée, il faut faire le geste correspondant défini par le système. Mais une fois les gestes maîtrisés, je pense qu'il s'agit de la manière la plus naturelle possible d'interagir avec un système, même si elle reste encore peu commune. Par exemple certaines voiture proposent des radios commandées par des gestes mais actuellement, cela reste plutôt "gadget". Dans le cas d'une utilisation ponctuelle (exemple : visite de musée) il n'est pas possible d'imaginer expliquer les gestes aux utilisateurs pour une expérience unique. Dans ce cas, soit le suivi de mouvement doit pouvoir être utilisé seul (exemple : on visite le musée et toutes les informations nécessaires s'affichent en temps voulu), soit la manière d'interagir doit être plus intuitive comme avec du tactile ou une télécommande.

Je pense que le tactile est devenu le plus intuitif alors que les gestes sont naturels mais pas encore aussi intuitifs.

L'utilisation du clavier et de la souris apporte également ce côté intuitif, même si je pense que pour les personnes âgées, le tactile l'est plus que le clavier souris. Par contre, d'un point de vue pratique, c'est impossible à utiliser en mouvement et cela limite donc fortement les possibilités d'utilisation. Il en va de même pour les touchpad.

Concernant les projets sans aucune interaction, je pense qu'ils sont justifiés dans certains cas précis mais de manière générale, ils limitent la sensation d'immersion de l'utilisateur. Dans le cas de "in vehicule AR", c'est parfait, en conduisant on ne doit pas être distrait par un besoin d'interagir avec le système et on ne doit pas ressentir ce sentiment d'immersion mais simplement afficher la bonne information au bon moment.

Enfin, concernant le projet "City planning system" avec son déplacement de plots, je trouve que c'est un bon moyen d'interaction pour ce type d'utilisation de la réalité augmentée. En effet, c'est très intuitif, on a finalement l'impression de prendre le mobilier urbain en main et de le déplacer, c'est comme travailler avec une maquette sans avoir besoin de réaliser la maquette.

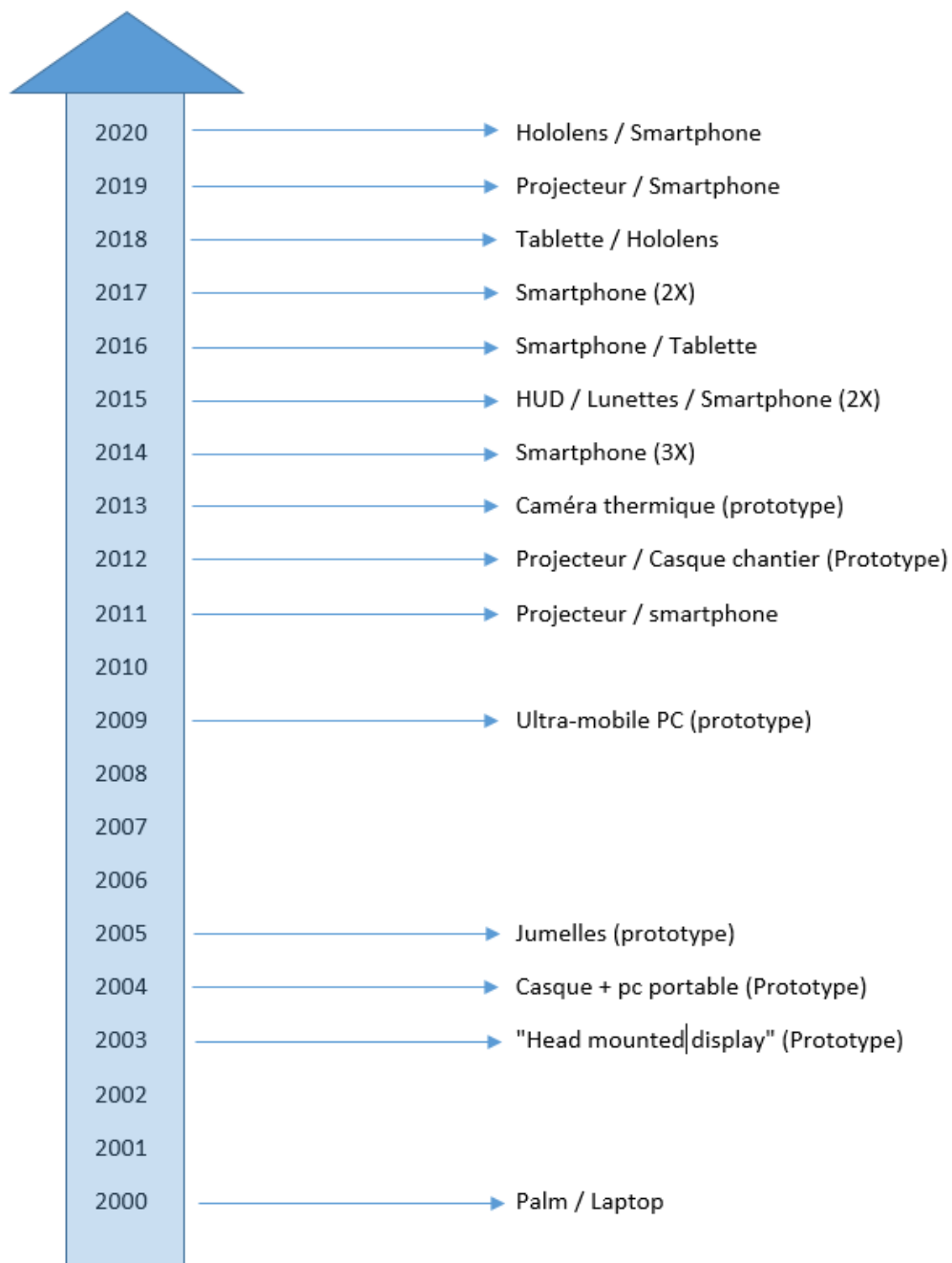
4.5 Affichage

La densité d'information textuelle et le contenu augmenté en 2D ou 3D semblent liés. En effet, généralement quand le contenu augmenté est en 3D, il se suffit à lui-même et n'est pas accompagné de données textuelles. À l'inverse, les projets avec une grande densité d'information textuelle sont généralement composés de contenu augmentés en 2D nécessitant des données complémentaires apportées par le texte.

Dans de nombreux projets plutôt basés sur l'orientation, la partie réellement augmentée est en 2D avec par exemple des repères de toute forme (rond, flèche,...) qui servent simplement à localiser un bâtiment ou un endroit. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire que la partie augmentée soit en 3D. En effet, quelle différence cela ferait-il si les repères de "smart campus", par exemple, étaient des sphères en 3D plutôt que des petits ronds. Par contre, dans ces projets, le but n'est pas uniquement de localiser les bâtiments mais également de donner des informations supplémentaires comme des horaires, une distance à parcourir. Ces informations sont donc ajoutées sous forme de texte car c'est la façon la plus simple et logique de les donner. À contrario, dans des projets plutôt urbanistiques comme "city planning AR", l'ajout du mobilier urbain en 2D enlèverait beaucoup d'immersion dans l'utilisation des lunettes. De plus, le but étant de réaliser une visite virtuelle, il n'y a aucun intérêt à ajouter du texte dans l'application. En effet des informations supplémentaires comme les délais, le coût, etc. des travaux peut être important pour l'utilisateur mais peut être donné après la visite.

Au niveau du positionnement du contenu augmenté, on constate que, dans tous les articles, il est important. Le positionnement du contenu augmenté a donc toujours une importance. Sans quoi ce n'est plus vraiment de la réalité augmentée mais une simple image accompagnée d'informations. En effet, c'est la définition même de la réalité augmentée : augmenter la réalité avec du contenu virtuel qui s'y superpose.

4.6 Ligne du temps



La Réalité Augmentée est une technologie assez récente. De par sa dépendance à une technologie d’affichage et de capteurs mobiles, il existe très peu de projets remontant avant les années 2000. Cet aspect récent des projets recensés est renforcé par l’apparition récente du concept de la smart city.

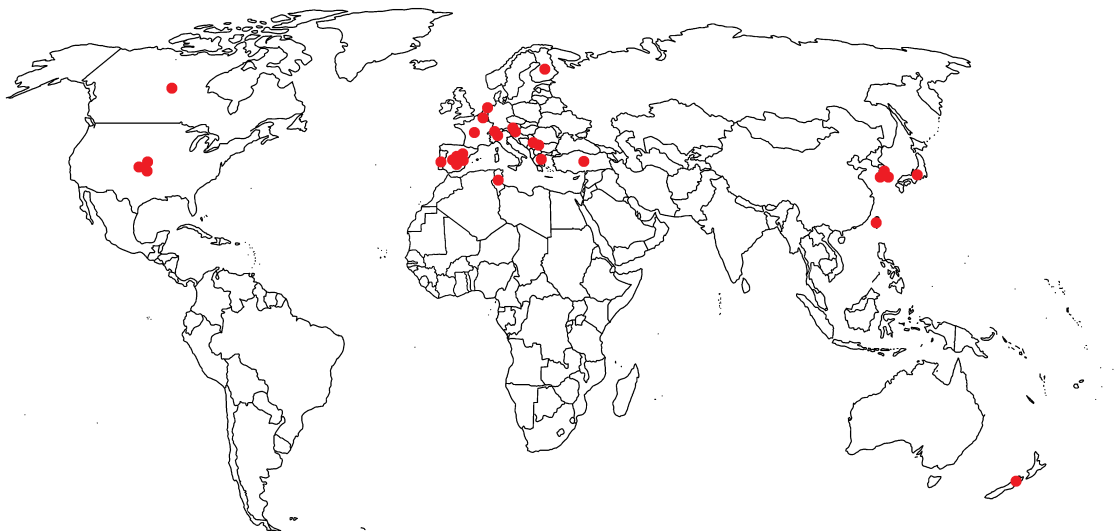
En représentant la technologie utilisée dans les projets sur une ligne du temps, on constate une révolution dans le domaine de la réalité augmentée dans les années 2010 avec l’apparition du smartphone. En effet, il apporte la puissance de calcul nécessaire, les capteurs indispensables comme l’appareil photo, le GPS ou le gyroscope et a l’avantage d’être facilement transportable et largement répandu. Avant cette période, on retrouve principalement des prototypes développés pour chaque projet. Ils sont généralement lourds et encombrants car composés d’un ordinateur portable dans un sac à dos.

Depuis deux à trois ans seulement, les lunettes Hololens sont utilisées dans le domaine de la réalité augmentée alors que l’idée était apparue beaucoup plus tôt. En effet, le manque de miniaturisation obligeait les premiers prototypes à être accompagnés d’un PC portable, ce qui a ralenti leur propagation.

Quoiqu’il en soit, le smartphone semble s’imposer comme l’appareil type car près d’un projet sur deux utilise cette technologie et il est fort à parier qu’il continue à être la référence dans le domaine. Malgré le flop des projets comme les « google glass » auprès du grand public, on peut s’attendre à l’arrivée de nouvelles lunettes de réalité augmentée car on sait que plusieurs géants comme Facebook et Apple y travaillent. Il est certain que si cette technologie devient aussi répandue que le smartphone, de nombreux projets verront le jour.

4.7 Carte du monde

J'ai placé sur une carte du monde les différents pays d'origine des articles afin de voir si une tendance géographique se dégageait :



Cette répartition est influencée par ma recherche d'articles (articles en anglais, recherche parmi les articles cités,...) mais de manière générale, il semble que les différents pays lancés dans la course aux smart cities sont représentés. L'état d'avancement technologique (réseau, smartphone,...) semble également jouer un rôle.

4.8 Recommandations

En conclusion, quand on parle de réalité augmentée dans la smart city, il existe beaucoup de projets dans le tourisme ou l'urbanisme. Je pense que ces domaines sont très couverts et qu'on y est bien avancé avec les technologies actuelles. Certains domaines sont quand à eux, peut représentés mais semblent pourtant très intéressants. Je pense notamment à l'inclusion ou les technologies actuelles pourraient apporter pas mal d'innovations. Que ce soit pour aider directement les personnes "différentes" ou pour aider à la conscientisation des citoyens.

D'un point de vue matériel, pour être à la mode, il faut partir sur une application smartphone qui utilise le tactile. Pour une application "dernier cri" utilisant les dernières technologies, l'idéal est les lunettes de réalité augmentées de type Hololens ou équivalent avec un contrôle complet via des gestes. Aucune interaction physique avec des boutons, ou du tactile. Enfin, pour jouer la carte de l'originalité, il y a toujours la possibilité de développer un prototype comme les jumelles de PRISMA, qui sortent vraiment de l'ordinaire.

D'un point de vue technologique, on peut affirmer que le "marker based" est dépassé et que même sans les "marker" la précision est au rendez-vous. Avec une application smartphone ou lunettes, on est dans la superposition. Bien que peu utilisée, la projection semble pourtant offrir du potentiel et est une piste à creuser dans les projets futurs. En effet, une projection de grande ampleur permet d'atteindre de nombreux utilisateurs en une fois sans avoir besoin de les équiper d'un appareil spécifique (application smartphone, lunettes,...).

Concernant l'affichage, afin de garantir une plus grande immersion dans la réalité augmentée, il vaut mieux proposer du contenu augmenté en 3D et le moins de texte possible.

Chapitre 5

Conclusion

Dans un premier temps, je vais tenter de répondre à ma question de recherche : "Comment la réalité augmentée participe à rendre les villes "smart" ?".

Pour répondre à cette question, j'ai recherché de nombreux articles sur des projets de réalité augmentée dans les smart cities. Je les ai avant tout sélectionnés : j'ai décidé de garder une cohérence par rapport à la smart city en tant que telle et ne pas m'éloigner dans certains sous-domaines comme la santé ou l'éducation. La réalité augmentée y est utilisée comme un outil au service du sous-domaine mais pas directement de la smart city. Je les ai ensuite classés par rapport aux domaines constituant la smart city et je les ai analysés et comparés sur base de différents critères comme la technologie, le support, l'affichage et l'interaction.

Cette analyse a fait ressortir plusieurs observations. Tout d'abord, certains domaines sont plus représentés que d'autres. Ensuite, au niveau matériel, le smartphone est le plus utilisé et les lunettes semblent arriver dans les projets récents. Concernant l'interaction, c'est le tactile qui domine, sans surprise, puisque lié au smartphone. Enfin, certains critères n'ont pas montré de grands résultats comme l'origine géographique des projets qui est très variée.

Sur base de ces observations, j'ai émis des recommandations pour la création d'un projet de réalité augmentée dans une smart city. D'un point de vue domaine, certains sont à creuser comme l'inclusion. Concernant la technologie utilisée, l'idéal semble le smartphone ou les lunettes avec du contenu augmentés en 3D et peu d'interaction physique (suivi de mouvement, gestes,...).

En conclusion, la réalité augmentée participe à rendre la ville smart par des projets variés dans divers domaines et sous différentes formes.

Dans un second temps, je vais donner des pistes pour des travaux futurs. En effet, cette analyse des applications de la réalité augmentée dans le cadre de la smart city m'a permis de dégager des observations et des recommandations sur le domaine mais elle a également ouvert des portes à d'autres travaux. Je vais donc en suggérer quelques uns dans cette partie :

- Bien que trop immersive pour être utilisée en rue, peut-être que des applications en réalité virtuelle existent déjà au sein des smart cities. Cette technologie, cousine de la réalité augmentée, semble plus orientée vers le divertissement et plus particulièrement les jeux vidéos. Son immersion complète dans un univers virtuel la rend pratiquement inutilisable en extérieur mais pourrait avoir un intérêt dans des lieux fermés comme les musées ou peut-être des extérieurs fermés comme des parcs. Ainsi, je pense qu'une analyse des systèmes existants en réalité virtuelle autre que dans les jeux vidéos pourrait être intéressante.
- Tous ces projets mis en place aux quatre coins du monde, peuvent-ils être adaptés à une ville comme Namur, de l'étude de faisabilité jusqu'à la réalisation ? Après avoir analysé de nombreux projets, je pense que certains pourraient trouver une utilité par chez nous. Il serait intéressant d'étudier cette possibilité et pourquoi pas la concrétiser en développant un projet similaire adapté à une ville comme Namur.
- Après avoir connu un premier flop, une nouvelle vague de lunettes de réalité augmentée semble se profiler à l'horizon. Si celles-ci viennent à se généraliser comme le smartphone, elles devraient révolutionner les applications de réalité augmentée dans la smart city. Au travers de l'analyse des articles, il est ressorti que la popularité du smartphone joue un rôle dans le choix de cet appareil pour les projets. En imaginant que les lunettes de réalité augmentée finissent par connaître le même genre de succès, il deviendrait alors tout à fait commun de croiser une majorité de gens en rue avec ces lunettes. De nombreuses applications aujourd'hui développées sur smartphone pourraient alors l'être pour les lunettes. Etant donné la liberté de mouvement qu'elles offrent par leur utilisation portée directement sur la tête, elles pourraient apporter beaucoup de possibilités comme des applications pour cyclistes, trottinettes, et autres moyens de transport alternatifs. Elles pourraient également devenir un outil incontournable dans de nombreux métiers. Ainsi, que ce soit dans la smart city ou même plus généralement, je pense que les lunettes de réalité augmentée pourraient être une des révolutions de demain et méritent donc que l'on s'y attarde.

Bibliographie

- [1] Fabian Fritz, Ana Susperregui, and Maria Teresa Linaza. Enhancing cultural tourism experiences with augmented reality technologies. 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural . . . , 2005.
- [2] Vassilios Vlahakis, John Karigiannis, Manolis Tsotros, Michael Gounaris, Luis Almeida, Didier Stricker, Tim Gleue, Ioannis T Christou, Renzo Carlucci, Nikos Ioannidis, et al. Archeoguide : first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites. *Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*, 9(10.1145) :584993–585015, 2001.
- [3] Roberto Pierdicca, Emanuele Frontoni, Primo Zingaretti, Eva Savina Malinverni, Andrea Galli, Ernesto Marcheggiani, and Carlos Smaniotto Costa. Cyberarchaeology : improved way findings for archaeological parks through mobile augmented reality. In *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, pages 172–185. Springer, 2016.
- [4] Eslam Nofal, Ahmed Elhanafi, Hendrik Hameeuw, and Andrew Vande Moere. Architectural contextualization of heritage museum artifacts using augmented reality. *Studies in Digital Heritage*, 2(1) :42–67, 2018.
- [5] Mateus Mendes, Jorge Almeida, Hajji Mohamed, and Rudi Giot. Projected augmented reality intelligent model of a city area with path optimization. *Algorithms*, 12(7) :140, 2019.
- [6] Boris Pokrić, Srdan Krco, and Maja Pokrić. Augmented reality based smart city services using secure iot infrastructure. In *2014 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, pages 803–808. IEEE, 2014.
- [7] Gerhard Reitmayr and Dieter Schmalstieg. *Collaborative augmented reality for outdoor navigation and information browsing*. na, 2004.
- [8] Lotfi Abdi, Faten Ben Abdallah, and Aref Meddeb. In-vehicle augmented reality traffic information system : a new type of communication between driver and vehicle. *Procedia Computer Science*, 73 :242–249, 2015.
- [9] Uğur Özcan, Aslihan Arslan, Menekşe İlkyaz, and Enis Karaarslan. An augmented reality application for smart campus urbanization : Msku campus prototype. In *2017 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG)*, pages 100–104. IEEE, 2017.
- [10] Marius Noreikis, Yu Xiao, and Antti Ylä-Jääski. Seenav : Seamless and energy-efficient indoor navigation using augmented reality. In *Proceedings of the on Thematic Workshops of ACM Multimedia 2017*, pages 186–193, 2017.
- [11] Catherine Angelini, Adam S Williams, Mathew Kress, Edgar Ramos Vieira, Newton D’Souza, Naphtali D Rishe, Joseph Medina, and Francisco R Ortega. City planning with augmented reality. *arXiv preprint arXiv :2001.06578*, 2020.
- [12] Longyu Zhang, Sifeng Chen, Haiwei Dong, and Abdulmotaleb El Saddik. Visualizing toronto city data with hololens.

- [13] Guoyong Zhang, Jianhua Gong, Yi Li, Jun Sun, Bingli Xu, Dong Zhang, Jieping Zhou, Ling Guo, Shen Shen, and Bingxiao Yin. An efficient flood dynamic visualization approach based on 3d printing and augmented reality. *International Journal of Digital Earth*, pages 1–19, 2020.
- [14] Gerhard Schall, Erick Mendez, Ernst Kruijff, Eduardo Veas, Sebastian Junghanns, Bernhard Reitinger, and Dieter Schmalstieg. Handheld augmented reality for underground infrastructure visualization. *Personal and ubiquitous computing*, 13(4) :281–291, 2009.
- [15] Hirokazu Kato, Keihachiro Tachibana, Masaaki Tanabe, Takeaki Nakajima, and Yumiko Fukuda. A city-planning system based on augmented reality with a tangible interface. In *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings.*, pages 340–341. IEEE, 2003.
- [16] Kostas Anagnostou and Panagiotis Vlamos. Square ar : Using augmented reality for urban planning. In *2011 third international conference on games and virtual worlds for serious applications*, pages 128–131. IEEE, 2011.
- [17] Max Allen, Holger Regenbrecht, and M Abbott. Smart-phone augmented reality for public participation in urban planning. In *Proceedings of the 23rd Australian computer-human interaction conference*, pages 11–20, 2011.
- [18] Ludovico Carozza, David Tingdahl, Frédéric Bosché, and Luc Van Gool. Markerless vision-based augmented reality for urban planning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 29(1) :2–17, 2014.
- [19] Jérémy Albouys-Perrois, Jérémy Laviole, Carine Briant, and Anke M Brock. Towards a multisensory augmented reality map for blind and low vision people : A participatory design approach. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–14, 2018.
- [20] Zulqarnain Rashid, Joan Melià-Seguí, Rafael Pous, and Enric Peig. Using augmented reality and internet of things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 76 :248–261, 2017.
- [21] Manuel Alonso-Rosa, Aurora Gil-de Castro, Antonio Moreno-Munoz, Joaquín Garrido-Zafra, Elena Gutierrez-Ballesteros, and Eduardo Cañete-Carmona. An iot based mobile augmented reality application for energy visualization in buildings environments. *Applied Sciences*, 10(2) :600, 2020.
- [22] Mani Golparvar-Fard and Youngjib Ham. Automated diagnostics and visualization of potential energy performance problems in existing buildings using energy performance augmented reality models. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(1) :17–29, 2014.
- [23] Keonhee Cho, Hyeonwoo Jang, Lee Won Park, SeungHwan Kim, and Sehyun Park. Energy management system based on augmented reality for human-computer interaction in a smart city. In *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pages 1–3. IEEE, 2019.
- [24] Sean White and Steven Feiner. Sitelens : situated visualization techniques for urban site visits. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pages 1117–1120, 2009.
- [25] Boris Pokrić, Srđan Krčo, Maja Pokrić, Petar Knežević, and Dejan Jovanović. Engaging citizen communities in smart cities using iot, serious gaming and fast markerless augmented reality. In *2015 International Conference on Recent Advances in Internet of Things (RIoT)*, pages 1–6. IEEE, 2015.

- [26] Kim Eugene and Jaewon Choi. Fine dust in augmented reality : Creating public service announcement. *COMPUSOFT : An International Journal of Advanced Computer Technology*, 3(11), 2014.
- [27] Stephan Lukosch, Heide Lukosch, Dragoş Datcu, and Marina Cidota. Providing information on the spot : Using augmented reality for situational awareness in the security domain. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 24(6) :613–664, 2015.
- [28] Kai-Chen Yeh, Meng-Han Tsai, and Shih-Chung Kang. On-site building information retrieval by using projection-based augmented reality. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3) :342–355, 2012.
- [29] David Chaves-Diéguez, Alexandre Pellitero-Rivero, Daniel García-Coego, Francisco Javier González-Castaño, Pedro Salvador Rodríguez-Hernández, Óscar Piñeiro-Gómez, Felipe Gil-Castiñeira, and Enrique Costa-Montenegro. Providing iot services in smart cities through dynamic augmented reality markers. *Sensors*, 15(7) :16083–16104, 2015.
- [30] Luis Sanchez, Veronica Gutierrez, Jose A Galache, Pablo Sotres, Juan R Santana, and Luis Muñoz. Engaging individuals in the smart city paradigm : Participatory sensing and augmented reality. *Interdisciplinary Studies Journal*, 3(4) :129, 2014.