

Space Dances

-

Dispositif technique de réalité augmentée

Introduction

Le *dispositif Space Dances* a pour objectif d'offrir un nouveau type d'expérience sur smartphone, permettant de rendre poétique la découverte d'un lieu ou d'un quartier, à travers des danses projetées en réalité augmentée.

À travers ce projet, il s'agit d'explorer les possibilités artistiques offertes par cette nouvelle forme de restitution, de comprendre les principes d'interaction qui y sont adaptés, et d'offrir une application mobile, utilisable d'un lieu à l'autre, pour diffuser ces expériences.

Enfin, il s'agit de fournir aux artistes une suite d'*outils auteurs*, permettant de créer des *expériences Space Dances* sans compétences informatiques particulières.

Ce projet est le fruit de nombreuses explorations, mises à l'essai à travers plusieurs résidences expérimentales pendant plus de 3 ans. Outre les retours enthousiastes obtenus, ce parcours nous a permis de comprendre le potentiel de ce nouveau moyen d'expression, et de préciser sa mise en forme interactive et ergonomique. Cela nous permet aujourd'hui d'avoir une vision claire sur la façon de pérenniser et diffuser ce projet, à travers la mise en place une base technique robuste, d'une méthodologie, et d'une suite d'outils auteurs.

Objectifs du projet

Démarche générale

L'objectif premier du *dispositif Space Dances* est de créer une nouvelle forme d'expérience, permettant de découvrir un lieu, un quartier, à travers un ensemble de danses, écrites pour le lieu en question. La découverte du lieu, et la restitution

des danses se font sur le téléphone du spectateur ou une tablette mise à disposition, via une application de réalité augmentée.

L'objectif du *dispositif Space Dances* est tout d'abord de concevoir ce type d'expérience, d'un point vu artistique, poétique, historique, et c'est ici le travail effectué par la Compagnie Corps Au Bord / Natacha Paquignon depuis 3 ans, et nous l'espérons bientôt par d'autres artistes qui s'empareront de ce projet.

Afin de supporter ce nouveau type d'expérience, il s'agit par ailleurs de définir les types d'interactions, en réalité augmentée, qui soient intuitifs pour l'utilisateur d'une part, et qui respectent l'expressivité artistique des danseurs d'autre part. C'est un travail que MuseoPic réalise depuis 3 ans, en collaboration avec la Compagnie Corps Au Bord / Natacha Paquignon, au travers de plusieurs résidences artistiques.

Enfin, l'ensemble de l'expérience doit être supporté par une solution technique performante, modulable, réutilisable d'un projet à l'autre, et compatible avec un maximum de smartphones. C'est là le fond de travail de MuseoPic, et ce qui correspond à son expertise. Deux premières moutures techniques expérimentales ont ici été mises en place pendant les 3 ans d'expérimentation, et une nouvelle solution est en cours de développement depuis début 2020 (afin notamment d'assurer une compatibilité avec les téléphones Android).

Une application mobile grand public, pour une nouvelle forme d'expérience culturelle

Du point de vue de l'utilisateur, ce qui ressort concrètement du *dispositif Space Dances* est une application mobile, à télécharger sur son smartphone. Quand il arrive sur un lieu équipé par une expérience *Space Dances*, l'utilisateur est invité à télécharger cette application, et à sélectionner le lieu où il se trouve. Il découvre alors quelques explications sur l'endroit en question, et sur la façon d'aborder son exploration avec l'application. Plusieurs modalités de guidage l'amènent à s'orienter dans le lieu, et à découvrir les espaces pour lesquels des danses ont été créées. Une fois dans un de ces espaces, par un jeu d'interaction, il peut alors découvrir une atmosphère sonore, puis les danses en réalité augmentée qui se mêlent à la structure du lieu qui l'entoure.

De nouveaux outils d'écriture exploitant la réalité augmentée

Du point de vue des artistes, le *dispositif Space Dances* est un nouveau moyen d'expression, à aborder via un ensemble d'outils méthodologiques et techniques, que nous appelons "outils auteurs". Ces outils permettent d'écrire une expérience interactive dans un lieu, et de projeter, à des endroits précis, des danses enregistrées en vidéo. Par la puissance des outils d'édition vidéo, et les possibilités offertes par la réalité augmentée en termes de restitution et de guidage dans l'espace, il est alors possible d'envisager des scénarios complexes et riches de contenus (sonores notamment). Ces outils auteurs prescrivent une approche qui permet de garantir que l'application sera fonctionnelle et intuitive, tout en offrant une grande variété dans l'expression artistique et poétique pour chaque expérience *Space Dances*.

Positionnement sociotechnique

Comme nous venons de voir, outre le défi technologique qu'il représente, ce projet est avant tout une exploration artistique, une recherche autour d'une nouvelle forme d'écriture exploitant la réalité augmentée.

Cette exploration se situe à un moment important de notre temps sociotechnique. La réalité augmentée est envisagée comme une technologie au potentiel énorme, qui devrait changer nos vies dans les années à venir, comme l'a fait internet ou le smartphone. Or, la forme que prendra concrètement cette surcouche virtuelle, entre nos yeux et notre réalité, reste aujourd'hui à inventer. Il reste encore beaucoup de libertés aux designers afin de préciser les techniques d'interaction qui cristalliseront, dans les années à venir, nos usages de cette technologie.

Ces designers travaillent, pour la plupart, aux services de grands groupes commerciaux, et la forme que prendra la réalité augmentée héritera de fait de préoccupations utilitaires et mercantiles. Expérimenter maintenant, de façon artistique, avec ce médium paraît donc important, afin de laisser aux artistes une place dans la concrétisation du prochain espace numérique dominant.

Présentation des acteurs du projet

La compagnie Corps Au Bord / Natacha Paquignon

Corps Au Bord est créée en 1998. Elle s'appelle alors Kat'chaça, et c'est un collectif pluridisciplinaire. En 2007, Natacha Paquignon en devient la chorégraphe, et la compagnie se recentre sur une recherche chorégraphique de la relation du corps à son environnement. En 2017, la compagnie change de nom et devient Association Corps Au Bord / Compagnie Natacha Paquignon.

La compagnie cherche à rendre poreuse la frontière entre art et société, à inscrire sa démarche artistique dans son environnement sensible et social. Cette approche la mène à déplacer de plus en plus son travail de création dans des espaces publics, à chercher des processus d'écriture qui incluent le public et à créer des projets modulables qui s'adaptent à leur contexte.

Jusqu'en 2012, cette relation entre corps et environnement se concrétise par une recherche sur la matière (l'eau dans *L'Aquarium* et *Baby Ploof*), un quartier urbain en pleine transformation (*La Maladie des plafonds* en 2009, à partir des témoignages des habitants du quartier Mermoz), la relation à d'autres arts (*Trio Trio* en 2010, une bande dessinée vivante et dansante avec l'auteur de BD Efix et le musicien Pierrem Thinet), notre environnement saturé d'images et de sons (*Des illusions*, création issue d'une recherche sur les illusions, les perceptions et phénomènes inconscients, en collaboration avec des chercheurs en neurosciences du CRNL).

En 2012, dans un monde où la technologie a pris une large place, Natacha Paquignon commence à se demander comment la technologie transforme le corps, et en quoi les frottements entre corps et technologie l'emmènent vers une écriture qui questionne ces nouvelles composantes numériques de notre environnement.

De 2012 à 2017, la compagnie développe une recherche à partir de technologies de captation du mouvement en temps réel. Elle crée des dispositifs interactifs où le propos chorégraphique découle de la relation du corps au dispositif.

Les projets se déclinent sous plusieurs formes : spectacles, performances, installations. Avec une même volonté de proposer au public une relation directe à l'œuvre, en lui donnant une place d'acteur dans le processus de représentation.

En 2018, avec son projet *Space Dances*, la compagnie s'engage plus loin dans cette dynamique relationnelle par la création d'un concept d'œuvre chorégraphique en réalité augmentée. Elle met en place un processus de recherche artistique et scientifique qui questionne les usages des outils de communication, la relation entre corps physiques et

immatériels, entre danse et lieux communs. *Space Dances* devient le nom d'un dispositif pour la création chorégraphique, visuelle et sonore qui repose sur une application pour tablettes tactiles et smartphones.

Les deux premières années de recherche & développement mènent à un premier parcours expérimental aux Subsistances, qui concrétise les thématiques au cœur du concept : la relation du corps à l'espace et la manière dont des corps dansants qui surgissent dans ces espaces les transforment ; la relation entre corps physiques et immatériels, la nécessité du réel pour pouvoir l'augmenter ; la composition de la danse pour l'image, et la définition de protocoles d'écriture chorégraphique dédiés à la réalité augmentée ; la notion de balade, de flânerie chorégraphique, qui questionne la relation au temps : temps du spectateur qui a le droit de se perdre, de choisir de passer par ici plutôt que par là, temps de la danse, du corps, et temps des technologies.

Le vidéaste Maxime Touroute

Maxime Touroute est un ingénieur informatique diplômé de l'école Polytechnique Universitaire de Nice. Autodidacte, il se spécialise dans le domaine artistique à la sortie de son école. Il travaille sur les plateaux de tournage en tant que réalisateur ou technicien, et est porteur de projets mêlant numérique et art visuel comme le projet *Humanlapse*, où il explore la création de timelapses de portrait ou encore le *Live Drawing Project*, une installation de dessin collaboratif en live impliquant le public. Au quotidien, Maxime cherche à s'investir exclusivement sur des projets à finalité artistique où il peut mêler ses compétences techniques et sa passion créative.

La start-up MuseoPic

MuseoPic est une startup basée à Lyon, qui depuis 5 ans propose aux musées et sites patrimoniaux une application mobile à destination de leurs visiteurs.

Fort de sa collaboration avec plus de 15 acteurs (artistes, musées, institutions), MuseoPic a su développer une solution adaptée aux usages mobiles des visiteurs.

À travers ce travail, MuseoPic est devenue pionnier dans le domaine de la réalité augmentée. La startup travaille sur de nouveaux principes d'interaction qui exploite le potentiel de cette technologie, et ses propositions sont reconnues par la communauté internationale animant la recherche en réalité augmentée.

Description technique et ergonomique

Réalité augmentée : concepts importants

Nous présentons ici un ensemble de concepts fondamentaux en lien avec la réalité augmentée. Nous verrons dans les sections suivantes les spécificités du système de réalité augmentée en cours de construction autour du *dispositif Space Dances*.

Réalité augmentée

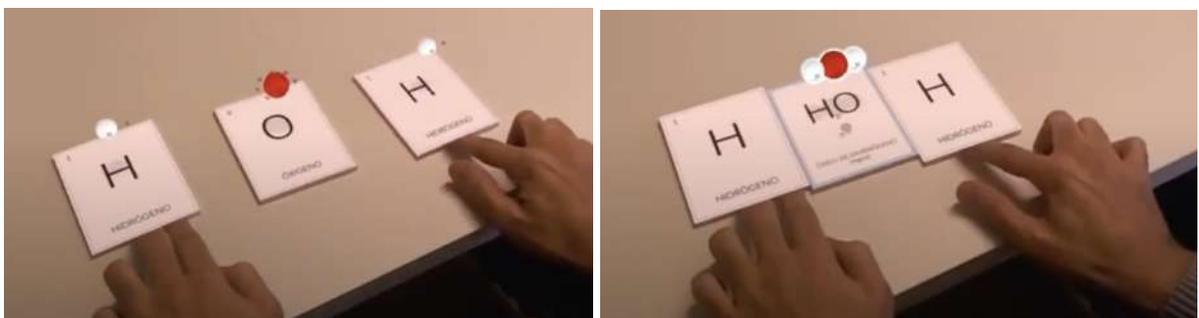
La réalité augmentée est un procédé où un dispositif technique donne l'illusion à un utilisateur que la réalité qui l'entoure incorpore des éléments de nature virtuelle.

Ce dispositif se positionne entre l'utilisateur et son environnement. À travers le dispositif, l'utilisateur perçoit sa réalité directe sur laquelle se superpose, de façon naturelle, une dimension virtuelle.

Réalité augmentée, réalité virtuelle, et réalité mixte

À titre de comparaison, une expérience de réalité virtuelle n'intègre elle aucun élément de la réalité direct de l'utilisateur. Elle est donc purement virtuelle. Coupé du monde, l'utilisateur est limité dans ses mouvements, il doit rester dans une zone de quelques mètres carrés pour éviter tout accident. D'un point de vue technique, un dispositif de réalité virtuelle reste donc beaucoup plus simple qu'un dispositif de réalité augmentée.

Par ailleurs on parle parfois de *réalité mixte*, pour parler d'une expérience de réalité augmentée où l'interaction avec des éléments réels va permettre d'agir sur un système de virtuel. Dans l'exemple ci-dessous on voit comment le fait de déplacer des cartes représentant des atomes, permet de comprendre leurs potentielles interactions moléculaires.



Le réel sert alors d'appui à une expérience qui se veut principalement virtuelle. D'un point de vue technique, un dispositif de réalité mixte équivaut à un dispositif de réalité augmentée.

Les dispositifs techniques de réalité augmentée

Un dispositif technique de réalité augmentée procède, de façon instantanée, par :

1. un enregistrement numérique de phénomènes pouvant être perçus par l'utilisateur (visuels et acoustique notamment);
2. une interprétation et une reconstruction de cet enregistrement;
3. et d'une restitution, qui présente alors l'instant capturé, enrichi d'éléments virtuels, insérés de façon réaliste dans l'enregistrement.

Les dispositifs de réalité augmentée actuels opèrent en général sur la dimension visuelle de la réalité, mais il existe des projets explorant la dimension sonore.

Aujourd'hui, le dispositif technique de réalité augmentée dominant repose sur nos appareils mobiles (téléphones portables et tablettes récents). Cette forme est accessible à tous et permet d'ores et déjà de créer et distribuer de premières applications de réalité augmentée. Un autre format est celui des lunettes de réalité augmentée. Encore très onéreux et expérimental, ce format plus immersif est certainement celui qui s'imposera dans le temps, et qui démocratisera l'usage de la réalité augmentée.

Exemple

Dans l'image ci-dessous, on voit comment le fauteuil virtuel s'intègre à la capture visuelle enregistrée depuis la caméra d'un smartphone. Le fauteuil semble naturellement posé sur la surface plane constituée par le sol, son degré d'éclairage s'accorde à l'éclairage ambiant, et son ombre portée est orientée comme celles des objets réels environnants.



L'image capturée par le dispositif est découpée et analysée, afin d'intégrer le fauteuil de façon réaliste dans l'image. Sur un iPhone, ces opérations sont effectuées 60 fois par secondes ce qui permet de prendre en compte le caractère dynamique de la scène.

Éléments virtuels

Dans les expériences de réalité augmentée sur mobile que nous envisageons, il est possible d'intégrer de nombreux types d'éléments multimédias: images, vidéos, sons, objets 3D animés, etc.

Ces éléments sont placés et orientés dans l'espace, de façon plus ou moins opaque. Le positionnement de ces éléments dans l'espace, leurs tailles, niveaux de transparence ou orientations sont autant de propriétés qui peuvent évoluer au cours de l'expérience, notamment au sein de jeux d'animations complexes. Des effets sonores peuvent notamment être synchronisés avec ces animations.

Interactivité

D'un point de vue interactif, tous les éléments présentés en réalité augmentée peuvent être cliqués, visés ou swipés pour déclencher des sous-animations. Par ailleurs, la position du visiteur par rapport à la scène, ou l'inclinaison de son appareil peuvent aussi être prises en compte pour déclencher des sous-animations.

Occlusion

Lorsque des éléments virtuels se trouvent, du point de vue du visiteur, derrière des objets réels (par ex. un personnage se cachant derrière un mur), il est possible de masquer les objets virtuels de façon réaliste (mécanisme d'occlusion), renforçant le côté immersif de l'expérience. Dans l'image ci-dessous, on voit comment un chat virtuel peut être "occlué" par un coussin (image de droite). Sans ce mécanisme, le rendu semble aberrant (image de gauche).



Afin de faire fonctionner ce mécanisme d'occlusion, il est nécessaire d'avoir une représentation 3D de l'objet réel. Cette représentation peut être définie à l'avance: on a un modèle 3D du coussin et on sait exactement où celui-ci se trouve dans la pièce. Sur les téléphones les plus puissants sortis en 2020, cette représentation peut aussi être calculée en temps réel, à condition que l'utilisateur prenne le temps de découvrir la pièce qui l'entoure.

Intégration avec les fonctions mobiles classiques

Enfin, les interactions, ayant lieu dans l'espace 3D en réalité augmentée, peuvent entrer en connexion avec le reste de l'application mobile. Il est par exemple possible de collectionner des éléments en les sélectionnant en réalité augmentée, pour les retrouver plus tard dans l'application. Le dispositif de "composition de carte postale" (créé par MuseoPic), présenté ci-dessous, montre un exemple d'une telle articulation.



Sur l'image de gauche, l'utilisateur vise une carte postale, et voit apparaître, en réalité augmentée, un élément en surbrillance. Il peut alors le collectionner via son écran, et plus tard, le mobiliser dans un outil de composition de cartes postales (image de droite).

Exemple d'applications de réalité augmentée

Afin de mieux comprendre les possibilités offertes par notre technologie de réalité augmentée, vous pouvez consulter les présentations vidéos de nos réalisations à l'adresse suivante : <http://ar.museopic.com>

Reconnaissance visuelle et ancrage dans la réalité

Différents types d'ancrage et de marqueurs

Les éléments virtuels que nous affichons doivent s'ancrer dans la réalité, et se positionner de façon pertinente à côté d'objets réels. Nous exploitons pour cela diverses technologies

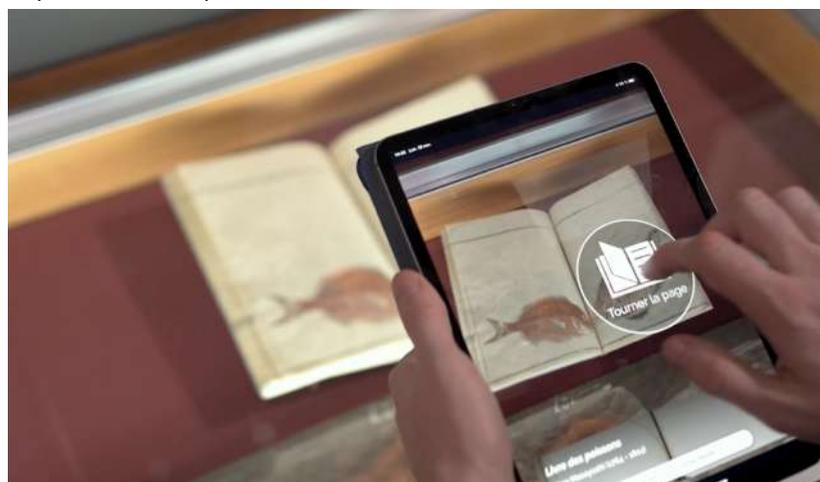
de reconnaissance visuelle qui permettent de détecter ces objets, comprendre leur position, et positionner par rapport à ceux-ci des éléments virtuels.

Selon les besoins de l'expérience, et le type d'objet à reconnaître, il existe plusieurs types de reconnaissance, et donc plusieurs façons d'ancrer l'expérience virtuelle dans la réalité. Nous exploitons les ancrages suivants :

- Surface plane : une surface plane quelconque, qui dès qu'elle est repérée, devient le support sur lequel les éléments virtuels seront positionnés. Dans l'image ci-dessous on voit qu'une table est détectée par le dispositif, qui projette sur celle-ci une voiture virtuelle.



- Objet visuel 2D prédéfini : une surface relativement plane présente un ensemble d'éléments graphiques singuliers et contrastés. L'apparence de cette surface plane est enregistrée comme une image (le marqueur) dans le dispositif de réalité augmentée, qui dès qu'il reconnaîtra cette image, pourra ancrer l'expérience de réalité augmentée. Dans l'image ci-dessous, nous voyons comment un livre sous vitrine est reconnu afin de donner la possibilité de tourner ses pages en réalité augmentée (dispositif créé par MuseoPic).



- Objet visuel 3D prédéfini : comme pour les images que nous venons d'évoquer, nous pouvons considérer le nuage de points correspondant à un objet volumique (le marqueur). Ainsi une statue, un jouet, un meuble, ou même la façade d'un immeuble peut être reconnu et identifié, et des éléments virtuels précisément mis en scène par rapport à cet objet. Dans l'image ci-dessous, on voit comment un coin de rue est reconnu, et permet d'ancrer un extrait de film ayant été tourné 40 ans auparavant au même endroit (dispositif créé par MuseoPic).



Pour les 2 derniers types d'ancrage, on parle de "marqueurs", qui correspondent à la représentation des objets à reconnaître. Ces marqueurs sont définis à l'avance, et intégrés dans le dispositif de réalité augmentée dans la perspective de leur reconnaissance visuelle.

Qualité des marqueurs

Dans le *dispositif Space Dances*, nous exploitons les marqueurs visuels prédéfinis (2D ou 3D). Il est important que chacun de ces marqueurs corresponde à un objet singulier dans le lieu, pour comprendre, sans ambiguïté, à quelle position se trouve le visiteur. Si nous prenons l'exemple d'un marqueur qui correspondrait à une affiche, et que cette affiche est présentée à plusieurs endroits dans le lieu, alors, lorsque cette affiche sera reconnue, il ne sera pas possible d'identifier la position du visiteur de manière sûre.

Par ailleurs il faut que les marqueurs comportent des détails visuels riches, marqués, et contrastés afin que les objets auxquels ils correspondent soient reconnus.

Enfin les objets à reconnaître doivent être stables dans leur positionnement dans le lieu, mais aussi dans leur apparence. Les objets qui présentent des surfaces réfléchissantes (et dont l'apparence change selon le point de vue et l'éclairage ambiant) seront ainsi à éviter. D'autre part, quand les conditions d'éclairage évoluent pendant la journée (pour les objets éclairés par le soleil notamment), l'apparition de taches d'ombres pourra éventuellement rendre leur reconnaissance plus difficile.

Ces différentes contraintes sont importantes à avoir en tête quand on décide d'équiper un lieu pour *Space Dances*, notamment afin de choisir les espaces où seront projetées des danses, et pour lesquels la précision de l'ancrage doit être élevée.

Phénomène de "drift"

Comme nous l'avons déjà précisé, dans le dispositif *Space Dances*, nous exploitons les marqueurs visuels prédéfinis (2D ou 3D). Ces types d'ancrage sont proposés par défaut par les différents SDK de réalité augmentée que nous mobilisons dans le cadre de ce projet. Une fois que l'on a détecté visuellement un élément, nous pouvons donc ancrer l'expérience dans la réalité, avec une précision de l'ordre du cm.

Lorsque cet objet sort du champ visuel du dispositif de réalité augmentée, des procédés d'analyse de l'image, et données issues d'un gyroscope et d'un accéléromètre, sont exploités afin de continuer à calculer la position de la caméra dans l'espace, et ainsi poursuivre l'affichage des éléments virtuels au bon endroit dans la réalité.

Le problème est que ce système est encore imparfait, et au bout de quelques secondes, des décalages apparaissent entre la position de l'objet virtuelle telle qu'elle est affichée à l'écran, et la position "théorique" où devrait se trouver l'objet, telle qu'elle est définie dans l'expérience de réalité augmentée. Ce phénomène de "drift" peut entraîner, après 30 secondes, une chute de la précision, de l'ordre du mètre, faisant apparaître des incohérences telles que l'expérience de réalité augmentée n'est plus crédible.

Le lieu comme ancrage de haut niveau

En exploitant les différentes modalités d'ancrage de bas niveau que sont les marqueurs visuels prédéfinis (2D ou 3D), MuseoPic a construit une modalité d'ancrage de plus haut niveau, où l'ancre devient un lieu dans sa globalité. Si on considère qu'un lieu (comme un musée par exemple) est composé de nombreux indices visuels, et que l'on connaît la position précise de ces indices, il est possible de se reposer sur la reconnaissance successive de plusieurs de ces indices pour connaître en permanence la position du dispositif dans le lieu. Le phénomène de drift est évité par le fait que des indices visuels soient fréquemment identifiés (toutes les 20 secondes au maximum), et qu'il soit donc possible de "relocaliser" l'expérience à intervalles réguliers.

Cette modalité d'ancrage est la plus puissante, car elle permet d'envisager des scénarios où l'expérience de réalité augmentée se déploie dans le temps et l'espace de manière à suivre un utilisateur sur plusieurs minutes, et plusieurs centaines de mètres. C'est ce type d'ancrage que nous mettons en place pour le *dispositif Space Dances*.

La danse en réalité augmentée

Dans la partie précédente, nous avons évoqué notre système de positionnement, qui permet de placer avec précision des éléments virtuels dans un lieu. Le *dispositif Spaces Dances* s'appuie sur cette fonction de base, afin de construire une expérience permettant de rentrer en interaction avec ce lieu, et de découvrir les danses créées au sein de celui-ci.

Au centre d'un *dispositif Space Dances*, on trouve un ensemble de vidéo, situées avec précision dans l'espace, et permettant à l'utilisateur de revivre une danse, écrite pour le lieu où il se trouve. Nous présentons ici les différents procédés techniques permettant de restituer les danses en réalité augmentée et de créer une expérience interactive autour de celles-ci.

Repositionner avec précision les danseurs dans le lieu

Afin de faire apparaître les danseurs, nous plaçons des vidéos de leur danse en réalité augmentée. Ces vidéos sont positionnées, en 3 dimensions, dans le lieu. Ce positionnement doit être précis à l'ordre du centimètre, particulièrement quand les danseurs interagissent avec des éléments réels (comme du mobilier urbain). Dans l'exemple ci-dessous, la vidéo présente les danseurs détourés et elle est positionnée de façon à ce qu'ils soient comme assis sur le banc.



Une telle précision est possible grâce à notre système d'ancrage dans un lieu (présenté dans la partie précédente). Il est alors important que les indices visuels exploités par ce système soient particulièrement présents aux endroits où les danses sont projetées, afin que la précision de l'ancrage soit optimale.

Vidéo avec partie transparente

Les vidéos utilisées présentent uniquement les danseurs et leurs éventuels accessoires. Par rapport aux danseurs, l'arrière-plan de vidéo est transparent. Ainsi, lorsqu'une vidéo est projetée en réalité augmentée, les danseurs apparaissent comme des hologrammes.

Dans la figure ci-dessous, on voit la vidéo brute à gauche, et la façon dont elle est intégrée dans l'espace en réalité augmentée.



Les vidéos que nous utilisons ici sont traitées afin de supprimer l'arrière-plan, via un procédé présenté plus bas.

Vidéo 2D

Une façon de présenter une vidéo est de plaquer celle-ci sur un rectangle, positionné en réalité augmentée dans l'espace réel. Le rectangle n'est pas visible par le spectateur, et sert juste d'écran de projection virtuelle à la vidéo (dont l'arrière-plan peut être transparent). Dans l'image ci-dessous, on voit que 3 "écrans" sont présents dans un couloir, et font apparaître 3 vidéos avec fond transparent.



Pendant l'expérience, si le visiteur s'oriente en face du rectangle virtuel, il aura l'illusion que les danseurs sont bien positionnés à un endroit précis de l'environnement et il pourra même se rapprocher librement de ceux-ci. En se rapprochant très près des danseurs, ou en se positionnant sur le côté du rectangle virtuel, il remarquera par contre que ceux-ci existent à travers une vidéo projetée sur une surface plane, et l'illusion cessera alors de fonctionner. Ici, un système de guidage peut être mis en place afin que le visiteur reste dans une zone précise (ou l'illusion fonctionne) pendant la lecture de la vidéo.

Vidéo à 360°

Pour certaines danses, il est souhaitable que les danseurs virtuels puissent tourner autour du spectateur. Le visiteur doit alors pouvoir tourner sur lui-même avec son appareil, et découvrir comment la danse se déploie dans l'espace autour de lui.

La vidéo que nous utilisons ici est obtenue par un dispositif vidéo de capture 360, puis traitée, avant d'être projetée, en réalité augmentée, sur une sphère virtuelle qui entoure l'utilisateur. Cette sphère n'apparaît pas visuellement pendant l'expérience, mais sert juste d'écran de projection pour la vidéo 360. Bien sûr, cette vidéo peut avoir un arrière-plan transparent.

Dans l'image ci-dessous, on voit 2 groupes d'individus, munis d'une tablette, en train de consulter des vidéos 360. Pour chaque groupe, la sphère qui sert d'écran pour cette vidéo 360 est représentée en semi-transparence par le besoin de cette explication. Les utilisateurs au sein d'une sphère peuvent tourner autour d'eux même pour découvrir les danseurs virtuels autour d'eux.



En termes d'expérience, pour que les danseurs virtuels soient placés au bon endroit, du point de vue du visiteur, il est important que celui-ci se place à l'endroit où la caméra 360 était positionnée lors de l'enregistrement de la danse. Cette contrainte est assez forte et implique d'être directif dans la façon de guider le visiteur (voir partie suivante). Il faut notamment lui faire comprendre, qu'une fois la lecture de la vidéo enclenchée, il doit rester au même endroit et qu'il n'est autorisé qu'à tourner sur lui-même.

Guider le spectateur dans un lieu

Space Dances amène un visiteur à découvrir un lieu, à travers plusieurs expériences de danses en réalité augmentée situées dans ce lieu. Afin de profiter de ces expériences, le visiteur doit explorer le lieu, trouver des espaces, puis se positionner à un point précis, afin de lancer une animation de réalité augmentée qui se superpose convenablement à l'environnement réel.

À titre d'exemple, dans le cadre de notre installation pour le "*Moi de la Danse*" en février 2020, nous avons couvert le site de Subsistances (Lyon) qui représente 7500 m². Le visiteur était localisé en permanence dans ce lieu, et guidé précisément jusqu'à des zones de 4m².

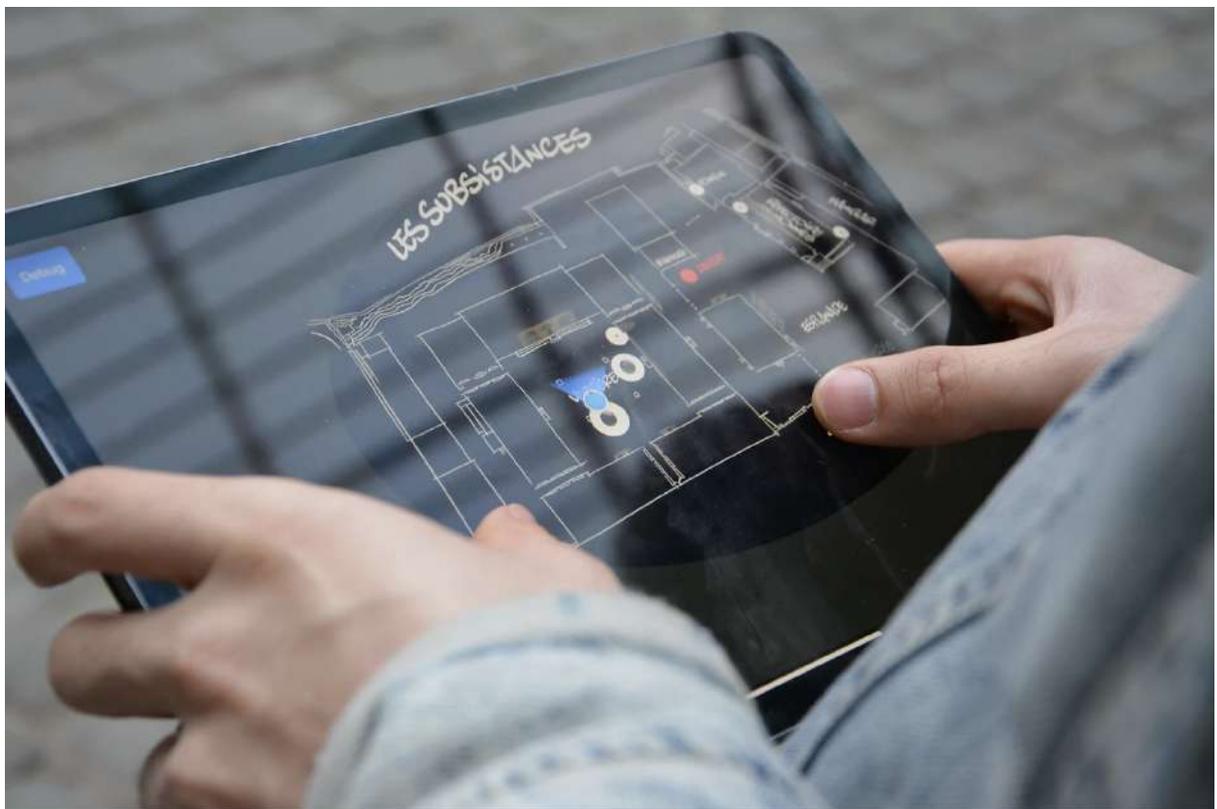
Afin de guider l'utilisateur dans la découverte du lieu, puis dans son interaction avec les expériences de réalité augmentée, nous utilisons une panoplie de procédés interactifs que nous présentons dans cette partie. La longue description de ces procédés de guidage, présenté dans cette partie, rend compte de la complexité du dispositif. Cependant, l'expérience de ce dispositif se veut intuitive pour l'utilisateur.

Se repérer grâce à la carte du lieu

Un premier outil existant afin de guider le visiteur est une carte du lieu. Celle-ci lui permet de mieux comprendre l'espace qu'il est possible d'explorer, de se repérer globalement dans cet espace, et d'identifier des points d'intérêts (ou les expériences de réalité augmentée sont proposées).

Cette carte peut prendre une forme graphique qui intègre une intention artistique, et qui suggère une appropriation particulière du lieu, dans la façon de s'y déplacer, et dans la façon de découvrir les points d'intérêts.

Dans l'image ci-dessous, on voit le module de cartographie réalisé pour le festival "*Moi de la Danse*" (février 2020).



D'un point de vue interactif, la carte s'affiche automatiquement quand on rabaisse l'appareil vers le sol. Quand l'appareil est relevé à la verticale, c'est le flux caméra qui apparaît ainsi que la réalité augmentée. La transition entre ces 2 modes est progressive ce qui alimente un plaisir d'utilisation chez les utilisateurs.

Le positionnement du visiteur sur la carte est très précis (à 10cm près) et évolue en temps réel selon ses déplacements. Il est de même pour l'orientation de la carte précise à 2° près.

Enfin il est possible de zoomer ou dézoomer sur cette carte, à l'aide d'un mouvement de doigt classique.

Les tests utilisateurs que nous avons effectués ont montré que la précision de la localisation, son évolution en temps réel, ainsi que la transition entre le mode carte et le mode réalité augmentée, constituent quelque chose de nouveau et de très engageant pour le visiteur, qui adhère ainsi très vite au dispositif. Nous montrons en vidéo le résultat ici : <http://nav.museopic.com>

Le guidage en réalité augmentée

Un deuxième niveau de guidage repose sur l'itinéraire pour parvenir à un point, qui peut être défini de façon directive par un tracé virtuel et des flèches, ou bien suggéré de façon subtile ou poétique à travers un personnage virtuel à suivre par exemple. Ici, le choix du mode de guidage est défini selon l'intention artistique propre au projet.

S'il s'agit d'un tracé au sol, celui est aussi visible sur la carte. Quand on remonte l'appareil pour passer en "mode réalité augmentée", alors le tracé apparaît de matière naturelle au sol, devant soi (voir image ci-dessous). Ce mode très directif de guidage permet d'éviter que l'utilisateur ne se trompe de chemin, mais limite aussi la déambulation libre et la découverte du lieu.



De façon alternative au tracé, on peut avoir un personnage en 3D qui nous guide jusqu'à la destination, en prenant le soin de nous attendre sur le chemin (voir image ci-dessous).

Ce mode de guidage est très engageant, notamment chez le jeune public, mais peut accaparer l'attention de l'utilisateur au détriment de la découverte du lieu.



Enfin le guidage peut être suggéré de façon plus poétique et moins directive. Dans le cadre du projet pour le *"Moi de la Danse"* en février 2020, nous avons ainsi mis en place un système de sphères abstraites qui se déplaçaient rapidement sur les différents itinéraires possibles (voir image ci-dessous). La vitesse de déplacement de ces sphères était assez rapide pour que l'utilisateur ne cherche pas à les suivre, leur fréquence de passage était réglée afin que les apparitions restent assez rares pour ne pas trop mobiliser l'attention de l'utilisateur, et assez fréquente pour lui rappeler de temps en temps les itinéraires possibles autour de lui.



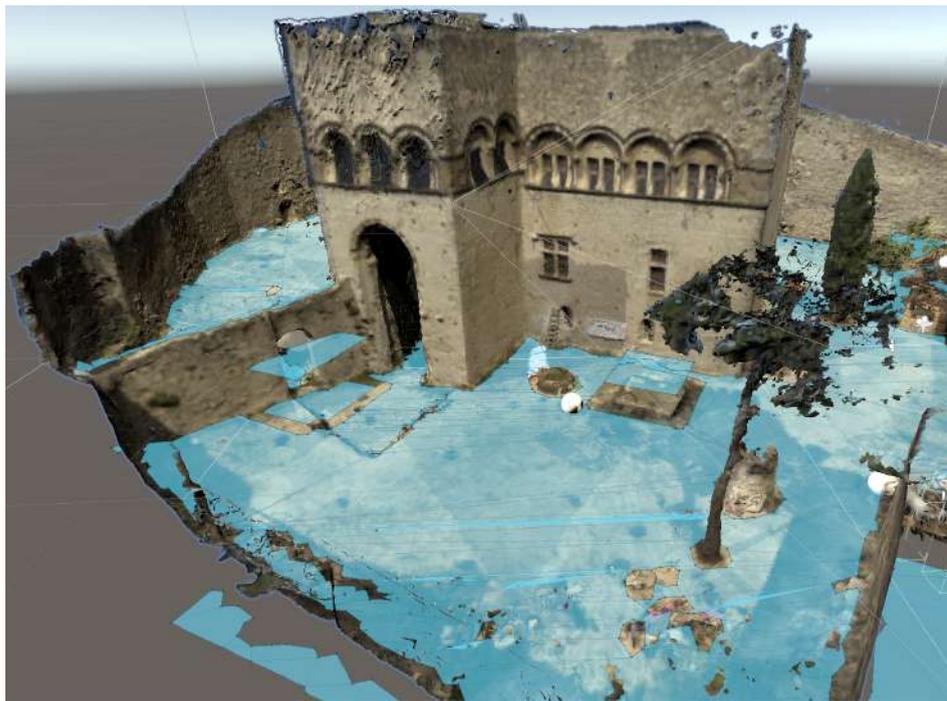
Bien sûr, d'autres formes de guidage poétiques peuvent être définies selon les projets. On voit ici comment l'exploration autour des procédés d'interaction en réalité augmentée est guidée par rapport à l'idée de l'artiste, qui ne peut se contenter d'une approche très utilitaire comme le système de tracé trop directif présenté au début de cette section.

Outil intelligent de calcul d'itinéraire

Quelle que soit la modalité de guidage retenu, le calcul de l'itinéraire se fait de manière intelligente et dynamique, à partir de la position actuelle de l'utilisateur, jusqu'à un point de destination.

Afin de calculer cet itinéraire, on exploite le jumeau numérique du lieu, qu'il soit issu de sa photogrammétrie ou de sa modélisation. Ce jumeau intègre une représentation des murs ou autres obstacles à éviter, permettant de déduire l'itinéraire.

On voit, dans la capture d'écran ci-dessous, le modèle 3D d'un château obtenu par photogrammétrie, ainsi que la zone de déplacement possible dans le lieu, en bleu clair. Cette zone est calculée automatiquement, et elle est par la suite utilisée pour le calcul d'itinéraires, à la base des différentes modalités de guidage évoquées dans la section précédente.



Cet outil est particulièrement puissant, puisque tout est automatisé à partir du moment qu'on obtient le jumeau numérique du lieu.

Le positionnement précis grâce à des zones délimitées virtuellement

La carte et les modalités de guidage que nous venons d'évoquer permettent de guider le visiteur vers un espace (comme une salle de musée par exemple). Une fois dans cet espace, il faut alors amener l'utilisateur à se positionner à un endroit précis (une zone de 1m par exemple) afin qu'il soit bien placé pour profiter de l'expérience de danse en réalité augmentée.

Une façon d'effectuer ce guidage précis consiste par exemple à représenter graphiquement cette zone au sol en réalité augmentée, et à inviter le visiteur à se positionner dans celle-ci (voir image ci-dessous).



Pour le "Moi de Danse" (février 2020), nous avons recouvert la zone cible d'une sphère, dans laquelle le visiteur peut entrer afin de profiter de l'expérience. Afin d'inviter le visiteur à entrer dans cette sphère, à proximité de celle-ci, on entend une voix : "Viens, rentre dans la sphère."



Une fois à l'intérieur d'une de ces sphères, un ensemble de boutons apparaît afin de sélectionner une séquence et lancer la lecture d'une vidéo 360°.

Si l'utilisateur sort de la zone prédéfinie pour la lecture de la séquence, l'illusion ne peut donc pas fonctionner (la vidéo ne pouvant alors plus être alignée convenablement avec le décor). On avertit alors le visiteur lorsqu'il s'approche de la limite de la zone, et on arrête complètement la vidéo lorsqu'il en sort. Dans ce cas, quand le visiteur rentre à nouveau dans la zone, le vidéo reprend à l'endroit où elle s'est arrêtée.

Amener le visiteur à regarder au bon endroit avec son appareil

Le dernier niveau de guidage concerne la direction dans laquelle l'utilisateur doit tenir son appareil, afin par exemple de voir un personnage virtuel situé dans l'espace.

Dans l'exemple suivant, le visiteur doit suivre un cochon virtuel pour être amené à la prochaine étape d'un jeu. Il doit tout d'abord regarder autour de lui, avec son appareil, afin de situer le cochon. Pour l'aider dans cette tâche, on fait apparaître, au bord de l'écran, une flèche, montrant la direction dans laquelle il faut se tourner, de façon à ce que le cochon apparaisse à l'écran.



Ce procédé, intuitif, permet de faire comprendre à l'utilisateur, qu'à un moment de l'expérience, il faut regarder dans une direction particulière avec son appareil.

Un guidage également sonore

L'ensemble des modalités guidage que nous avons présentées dans cette partie se manifeste visuellement sur l'écran de l'appareil. Il est également possible de donner une dimension sonore à ce guidage, avec par exemple des personnages, ou des voix, qui invitent l'utilisateur à s'orienter dans une direction, à s'avancer, ou se reculer.

Si l'utilisateur est équipé d'écouteurs ou d'un casque, il est possible de lui donner l'impression que ses sons sont situés dans l'espace. Il est alors possible de lui demander de suivre une voie, ou un son. Le guidage peut ainsi se faire de manière sonore. Nos expérimentations nous ont montré que cette modalité de guidage est efficace (mais bien sûr moins efficace qu'un guidage visuel).

Des scénarios interactifs complexes

Le système de guidage que nous présentons ici prend appui sur un système de création de scénarios interactifs développé par MuseoPic.

Ce système permet tout d'abord de prendre en compte des actions du visiteur, comme par exemple : le visiteur rentre dans une zone donnée, le visiteur pointe la tablette vers un élément virtuel, le visiteur touche un élément virtuel à travers la tablette, etc.

Chacune de ces actions peut dans un second temps servir à déclencher de nombreux effets au niveau des éléments virtuels : apparition ou animation d'un élément, lecture d'une vidéo (s'affichant en réalité augmentée), lecture d'un son, etc.

Ces jeux d'interaction peuvent être organisés en étapes, pour que l'utilisateur soit amené à avancer progressivement dans une expérience.

Nous présentons dans la vidéo suivante un jeu en réalité augmentée, qui exploite ce système. Cela permet de mieux comprendre son fonctionnement, et surtout son potentiel.

<https://youtu.be/VjEVmxXwxLw>

Technologies utilisées

Le *dispositif Space Dances* repose sur un ensemble d'outils et de briques logiciels, dont nous détaillons les principales ici.

Critères

Ces technologies ont été choisies par rapport à plusieurs critères :

- universalité : l'application produite doit fonctionner sur un maximum de téléphones ou de tablettes, sans nécessité de développements spécifiques pour une plateforme particulière.
- évolutivité : le base technique doit pouvoir évoluer dans le temps, afin de suivre les nombreuses nouveautés en lien avec la réalité augmentée. Elle doit donc reposer sur des briques technologiques qui sont bien maintenues par leurs éditeurs, et qui peuvent être articulées avec de nouvelles briques qui pourraient apparaître dans le temps.

Application iOS et Android

Les applications produites sont destinées aux systèmes iOS et Android, et exploitent donc la base logicielle fournie gratuitement par Apple et Google autour de ces plateformes. Notre utilisation de Unity (voir plus bas) nous permet d'exploiter indirectement cette couche logicielle.

Apple et Google fournissent par ailleurs le moyen de distribuer votre application sur les appareils des visiteurs via l'*App Store* et le *Play Store* (respectivement), pour un prix de 25€ sur Android, et de 100€ par an sur iOS.

ARKit & ARCore

ARKit et ARCore font partie de la base logicielle de base proposée respectivement par Apple et Google pour la création d'applications mobiles. Il s'agit des SDK destinés à la réalité augmentée. Aux fonctionnalités similaires, ils constituent les SDK de réalité augmentée les puissants sur mobiles. Ils sont régulièrement mis à jour afin d'incorporer des nouveautés et améliorations.

Afin de pouvoir fonctionner, ces technologies imposent des téléphones relativement récents :

- iPhone et iPad sortis après 2016.
- Appareil Android moyen et haut de gamme de moins de 2 ans.

- voir liste des modèles compatibles ici :

<https://developers.google.com/ar/discover/supported-devices>

Unity

Unity est un outil de création d'expérience interactive 3D très populaire. Il permet de générer, à partir du même projet, des applications sur de nombreuses plateformes (dont iOS et Android). Cette caractéristique est importante, car elle nous évite de perdre du temps à développer les mêmes fonctions 2 fois : pour Android et pour iOS.

Afin d'exploiter ARKit et ARCore, nous passons par la bibliothèque ARFoundation inclus avec Unity.

Par ailleurs Unity est l'outil de plus complet pour créer des expériences de réalité augmentée riches, avec de nombreuses possibilités au niveau des traitements 3D.

Wikitude

Wikitude est un SDK de réalité augmentée qui permet, dans notre cas, d'améliorer sensiblement les capacités d'ARKit et ARCore autour de la reconnaissance et le suivi de marqueurs visuels (2D ou 3D). Cela a son importance vis-à-vis de notre système permettant d'augmenter un lieu. En effet, Wikitude nous permet de détecter des indices visuels bien plus régulièrement que ARKit et ARCore, et permet ainsi des *relocalisations* plus rapprochées dans le temps, limitant donc le phénomène de *drift*. Par ailleurs, Wikitude permet de considérer des marqueurs 3D de grande taille (comme la façade d'un bâtiment), alors que ARKit et ARCore se limitent actuellement à de petits objets (de la taille d'un jouet).

Metashape

MetaShape est un outil de photogrammétrie, permettant de créer un modèle 3D d'un objet ou d'un lieu à partir d'une série de photos. Réputé comme étant un des meilleurs logiciels du genre, il est compatible Windows et Mac OS, est régulièrement mis à jour.

Méthodologie et outils auteurs

Pour chaque espace à équiper, une méthodologie en plusieurs étapes doit être mise en place. Ce processus est le fruit des expérimentations que nous effectuons depuis 3 ans, il repose sur un jeu d'outils, structure de données et de bonnes pratiques développées dans le cadre de 5 résidences expérimentales autour de *Space Dances*.

L'ambition du *dispositif Spaces Dances* est de développer des outils permettant de simplifier cette méthodologie, et permettre aux artistes d'être autonomes pour chacune des étapes, sans nécessiter de compétences informatiques ou 3D particulières.

1. Repérage du lieu

La première étape de tout projet consiste à repérer le lieu où le dispositif sera utilisé.

Avec les artistes, les espaces particuliers où les danses seront projetées en réalité augmentée sont sélectionnés. Au-delà des critères créatifs et artistiques, des contraintes techniques sont prises en compte. Celles-ci concernent la reconnaissance visuelle de

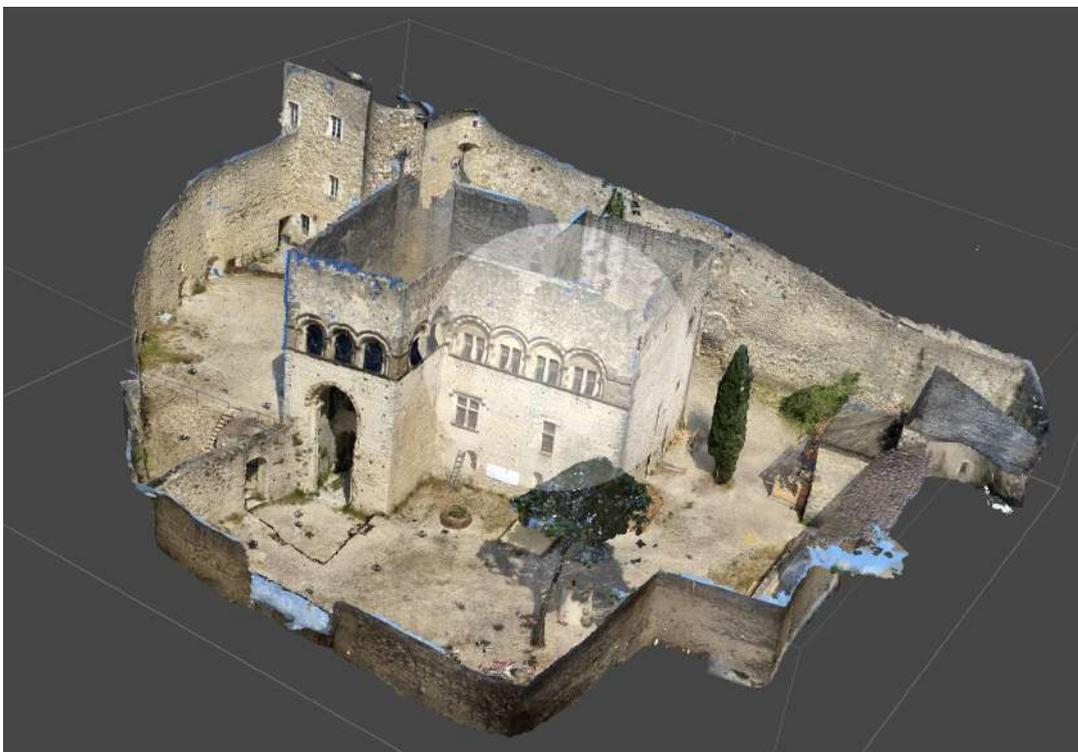
l'espace. Celui-ci doit en effet proposer des indices singuliers, saillants, stables dans le temps, et dont l'apparence est peu sensible au changement de luminosité. À titre d'exemple, une salle de musée, éclairée de façon stable, avec des œuvres qui ne bougent pas et qui présentent des propriétés graphiques fortes et singulières, constitue un très bon espace. À l'opposé, un jardin constitue un espace difficile à exploiter, les éléments végétaux évoluent selon les saisons, et leur apparence change avec les jeux d'ombres qui se déploient tout au long de la journée.

Ces différents critères sont intégrés dans la discussion avec les artistes et le responsable du lieu, afin de définir les différentes zones où il est possible de proposer des expériences de réalité augmentée.

2. Photogrammétrie

Une fois les espaces repérés, nous créons un jumeau numérique du lieu en 3D. À partir d'une série de photos, un logiciel de photogrammétrie comme Agisoft MetaShape permet d'obtenir le modèle 3D de l'espace. En le comparant au plan technique du lieu à couvrir, nous mettons à l'échelle le modèle 3D ainsi obtenu, et vérifions au passage sa justesse.

Ci-dessous, nous voyons des captures du résultat obtenu pour un château médiéval. 1000 photos et 1 demi-journée de traitement ont été nécessaires afin de modéliser les 2500 m² d'espaces extérieurs du château.





Le modèle 3D issu de la photogrammétrie est utile au bon fonctionnement de l'expérience de réalité augmentée. Il permet tout d'abord de gérer les mécanismes d'occlusion. En effet, afin de masquer un objet virtuel lorsqu'il se trouve, du point de vue de l'utilisateur, derrière un objet réel, il faut avoir une représentation de cet objet réel. C'est précisément ce que nous offre la photogrammétrie : une représentation 3D de l'ensemble du lieu.

De façon plus subtile, la photogrammétrie permet aussi de prendre en compte les variations d'altitude dans le lieu. Si une série d'objets virtuels, réparties sur l'ensemble du lieu, doit apparaître à la hauteur du point de vue de l'utilisateur, alors il faut connaître en tout point du lieu l'altitude du sol. Cette donnée, complexe à obtenir via des procédés de mesures classiques, nous est offerte par la photogrammétrie. À travers l'éditeur Unity, placer les objets virtuels relativement au niveau du sol devient alors une opération évidente et naturelle (voir étape 5).

Enfin, nous allons voir que ce jumeau numérique est, par ailleurs, particulièrement utile pendant la suite de la mise en place du *dispositif Space Dances*.

3. Préparation du projet Unity

Nous préparons ensuite un projet Unity qui servira de base à l'expérience de réalité augmentée. Ce projet intègre à ce stade :

- notre base logicielle (à travers différents composants Unity que nous avons développés),
- les composants pour la réalité augmentée (ARFoundation et Wikitude),
- le plan technique du lieu,
- le modèle 3D issu de la photogrammétrie, et mis à l'échelle.

A ce stade du projet, nous pouvons déjà lancer le processus permettant de rendre disponible le système de calcul d'itinéraire automatisé.

4. Capture et placement des indices visuels

Nous identifions ensuite les indices visuels qui seront reconnus par notre application, afin de calibrer l'expérience de réalité augmentée dans le lieu.

Pour chaque indice, nous prenons un ensemble de photos, dans les conditions d'exposition qui se rapprochent le plus de celles que rencontreront les utilisateurs de l'application. Selon que les indices visuels correspondent à des marqueurs 2D ou 3D, les techniques de prise de vue varient.

Nous importons ensuite les photos prises sur le lieu dans nos outils de création de marqueurs lié au SDK de réalité augmentée Wikitude. Ces outils sont rassemblés sur la plateforme web "wikitude studio", utilisable gratuitement. Pour chaque marqueur, nous sélectionnons les photos de bonne qualité (selon plusieurs critères propres à Wikitude), puis nous demandons la création d'un marqueur. Après un traitement de quelques minutes, nous obtenons une indication sur la qualité du marqueur. Nous sélectionnons les meilleurs marqueurs et demandons la création d'un fichier qui les rassemble. Ce fichier sera par la suite intégré à l'application afin qu'elle puisse reconnaître les différents indices visuels.

Une dernière étape consiste à définir, avec précision, la position de ces indices visuels dans l'espace du lieu. Grâce à cette position, lorsqu'un objet est reconnu pendant l'expérience, nous pouvons déduire précisément où se trouve l'appareil du visiteur, et ainsi alimenter l'expérience de réalité augmentée. Nous utilisons ici le jumeau numérique afin de placer avec précisions ces indices visuels. Pour cela, dans le projet Unity, nous importons la représentation graphique des marqueurs visuels, puis nous les proposons avec précision au modèle 3D du lieu (issue de la photogrammétrie).

5. Placer les éléments virtuels et éditer le scénario de l'expérience

Dans cette étape, nous mettons en place les différents éléments virtuels qui animeront l'expérience de réalité augmentée. Il s'agit notamment des éléments vidéos et de leurs boutons de déclenchement, les marquages au sol et éventuels panneaux d'indication, etc.

Pour chacun de ces éléments, nous importons dans Unity les ressources multimédias correspondantes, en adaptant éventuellement leur format. À partir de l'éditeur Unity, nous

nous basons sur la représentation 3D du lieu, issue de la photogrammétrie, afin de placer ces ressources dans l'espace.

Nous pouvons également placer des ressources qui n'auront pas de manifestations graphiques ou audio, mais qui joueront un rôle dans l'interaction. Nous pouvons ainsi dessiner une zone qui sera invisible pour l'utilisateur final, mais qui permettra de déclencher la lecture d'une vidéo si la position du visiteur correspond à cette zone.

Nous éditons ainsi toutes les interactions en lien avec chaque élément virtuel, qu'il soit visible ou non par l'utilisateur.

6. Simuler l'expérience pour affiner sa conception

Grâce à l'étape précédente, nous construisons dans l'éditeur Unity une représentation 3D de l'expérience de réalité augmentée. Nous pouvons alors lancer cette expérience tout en restant dans Unity, et nous déplaçant dans la représentation 3D du lieu, comme dans un jeu vidéo. Les différents éléments virtuels apparaissent, et toutes les interactions avec ceux-ci fonctionnent dans cette simulation.

Le grand intérêt de cet outil est qu'il évite de compiler le projet pour un appareil de test, et de se rendre sur place pour tester que tout fonctionne de façon cohérente. Cette opération prend en effet plusieurs minutes à chaque fois, et doit être effectuée des centaines de fois pendant la conception d'un projet *Space Dances*.

On peut donc très rapidement avoir un aperçu de ce que pourrait donner l'expérience, et ainsi faciliter les aller-retour entre moment de conception de l'expérience, et moment de tests. Ces aller-retour sont à effectuer avec l'artiste, qui peut mieux se figurer ce que pourrait donner l'expérience, et y apporter progressivement des ajustements.

Bien sûr, une fois une version acceptable obtenue par ce biais, il faut effectuer des tests sur le lieu réel, en réalité augmentée, pour véritablement vivre l'expérience de réalité augmentée et continuer à l'ajuster, comme nous allons le voir à l'étape suivante.

7. Tests grandeur nature

Les tests réels permettent de vérifier dans un premier temps si les différents indices visuels, mis en place à l'étape 4, sont bien reconnus et s'ils permettent de localiser avec précision l'appareil dans l'espace.

Les tests permettent ensuite de comprendre si l'expérience interactive proposée est intuitive et cohérente dans son ensemble. Ces retours peuvent être effectués par l'équipe

de conception, ou bien, lorsque l'application devient plus robuste, par des personnes n'ayant pas entendu parler de notre projet, et qui jouent le rôle de cobaye.

Ces tests permettent de comprendre l'usage qui se développe de l'application, et il est souvent nécessaire de revenir à l'étape 6 pour affiner certains éléments virtuels, ou rajouter des éléments afin de mieux guider l'utilisateur. Plusieurs aller-retour entre l'étape 6 et 7 sont alors mis en place jusqu'à l'obtention d'une solution satisfaisante.

8. Inauguration du dispositif

Les *dispositifs Space Dances* font l'objet d'une inauguration, notamment dans le cadre d'un festival par exemple. Dans ce cadre, les premiers usages réels de l'application apparaissent. Nous sommes alors sur place pour comprendre ceux-ci, et si besoin, ajuster le fonctionnement de l'application.

Par la suite l'application reste fonctionnelle, en dehors du temps de l'inauguration, à condition que la majorité des indices visuels initialement définis restent présents, au bon endroit, dans l'espace.