

Occlusion Reduction Techniques for the Selection of Physical Referents in Augmented Reality: Adaptation and Evaluation of Virtual Reality Techniques

Techniques de Réduction de l'Occultation pour la Sélection de Référents Physiques en Réalité Augmentée : Adaptation et Evaluation de Techniques de Réalité Virtuelle

Occlusion Reduction Technique for the Selection of Physical Referents in Augmented Reality

Techniques de Réduction de l'Occultation pour la Sélection de Référents Physiques en Réalité Augmentée

Clément Truillet

Université de Toulouse, IRIT, Toulouse, France, clement.truillet@irit.fr

Emmanuel Dubois

Université de Toulouse, IRIT, Toulouse, France, emmanuel.dubois@irit.fr

Marcos Serrano

Université de Toulouse, IRIT, Toulouse, France, marcos.serrano@irit.fr

In situated visualization, digital data is linked to physical referents in the user's environment. However, when the environment contains multiple physical referents (e.g., buildings in an urban scale model), some may be occluded by others, complicating the user's ability to point and select them. This issue is well-known in VR, and the literature offers various techniques of occlusion reduction to support pointing at the initially occluded virtual objects in VR. These techniques can be organized into three main categories: moving the objects to reveal them; turning the occluder transparent to reveal the objects behind it; using an additional view to reveal the occluded objects. However, it is uncertain whether these techniques are well-suited to reveal occluded physical referents in AR environments. In this paper, we propose occlusion reduction techniques dedicated to AR, i.e., used for revealing occluded physical referents in AR and allowing their selection. To this end, we apply and evaluate the three types of VR techniques in an AR context. The results suggest the need for improvements to better fit the physical context. We therefore propose three future works based on the results of the study.

CCS CONCEPTS •Human-centered computing~Human computer interaction (HCI)~Interaction techniques~Pointing•

Additional Keywords and Phrases: Occlusion reduction technique, pointing, augmented reality

Dans la visualisation située, les données numériques sont liées à des référents physiques dans l'environnement de l'utilisateur. Cependant, lorsque l'environnement contient plusieurs référents physiques (par exemple, des bâtiments dans un modèle à l'échelle urbaine), certains peuvent être occultés par d'autres, compliquant la capacité de l'utilisateur à les pointer et les sélectionner. Ce problème est bien connu en réalité virtuelle, et la littérature propose diverses techniques de réduction de l'occultation pour soutenir le pointage des objets virtuels initialement occultés en réalité virtuelle. Ces techniques peuvent être

organisées en trois catégories principales : déplacer les objets pour les révéler ; rendre l'occultant transparent pour révéler les objets derrière lui ; utiliser une vue supplémentaire pour révéler les objets occultés. Cependant, il est incertain que ces techniques soient bien adaptées pour révéler les référents physiques occultés dans les environnements de réalité augmentée (RA). Dans cet article, nous proposons des techniques de réduction de l'occultation dédiées à la RA, c'est-à-dire utilisées pour révéler les référents physiques occultés en réalité augmentée et permettre leur sélection. À cette fin, nous appliquons et évaluons les trois types de techniques de réalité virtuelle dans un contexte de réalité augmentée. Les résultats suggèrent la nécessité d'améliorations pour mieux s'adapter au contexte physique. Nous proposons donc trois travaux futurs basés sur les résultats de cette étude.

Mots-clés additionnels : Technique de réduction de l'occultation, pointage, réalité augmentée

ACM Reference Format:

First Author's Name, Initials, and Last Name, Second Author's Name, Initials, and Last Name, and Third Author's Name, Initials, and Last Name. 2018. The Title of the Paper: ACM Conference Proceedings Manuscript Submission Template: This is the subtitle of the paper, this document both explains and embodies the submission format for authors using Word. In Woodstock '18: ACM Symposium on Neural Gaze Detection, June 03–05, 2018, Woodstock, NY. ACM, New York, NY, USA, 10 pages. NOTE: This block will be automatically generated when manuscripts are processed after acceptance.

1 INTRODUCTION

La visualisation située consiste à présenter des données numériques à proximité d'un objet physique qui génère ou est lié à ces données : cet objet est communément appelé référent physique [48]. La réalité augmentée (RA) avec les casques semi-transparents, tel que le HoloLens par exemple, est particulièrement pertinente pour la visualisation située, car elle permet d'afficher des données numériques à proximité de leur référent physique réel, permettant ainsi une interaction sans les mains [11, 31, 39]. Par exemple, une telle visualisation située basée sur la RA a été utilisée pour augmenter un modèle physique urbain avec des données de consommation énergétique des bâtiments [40]. Plus généralement, dans la visualisation située, les utilisateurs explorent et comparent des données au travers de plusieurs référents physiques. Il est donc important de fournir aux utilisateurs des techniques d'interaction efficaces pour pointer et sélectionner des référents physiques dans leur environnement. Cependant, une telle tâche est difficile dans des environnements contenant plusieurs référents physiques, dont certains sont physiquement occultés [49], par exemple des bâtiments dans un modèle urbain à l'échelle. Les problèmes que nous abordons dans ce papier portent sur la réduction efficace de l'occultation et le pointage de ces référents physiques occultés lors de l'utilisation de casques de RA semi-transparents.

La question du pointage des objets physiques occultés en RA a été peu explorée jusqu'à présent [8, 14]. En revanche, la question de la sélection d'objets numériques en réalité virtuelle (RV) est bien connue et a fait l'objet de diverses études. En RV, nous pouvons diviser les techniques existantes de réduction de l'occultation en trois catégories principales [13] : 1) les techniques qui déplacent l'objet occulté pour le rendre visible à l'utilisateur ; 2) les techniques qui rendent les objets occultants transparents afin de permettre à l'utilisateur de voir l'objet occulté ; et 3) les techniques qui fournissent aux utilisateurs une vue supplémentaire non occultée de l'objet cible. Cependant, il n'est pas clair dans quelle mesure ces techniques s'appliqueraient au contexte des objets physiques occultés lors de l'utilisation de casques de RA semi-transparents.

Notre travail vise à étudier les performances de techniques de réduction de l'occultation pour la sélection d'objets physiques occultés en contexte RA.

Dans ce papier, nous appliquons et évaluons trois techniques de réduction de l'occultation. Chacune de ces techniques (BalloonProbe, AlphaCursor, et vMirror) sont issues des trois catégories principales des techniques de

réduction de l'occultation en RV, et adaptées au contexte de la sélection de référents physiques occultés en RA. Ces techniques étant l'adaptation des techniques existantes en RV, elles sont nommées respectivement BalloonProbeAR, AlphaCursorAR et vMirrorAR et décrites en suivant. Enfin, les techniques utilisent un modèle numérique de l'espace physique conçu en amont afin de permettre leur fonctionnement.

BalloonProbeAR est une technique de déplacement des objets qui élève les objets à la surface d'un artéfact hémisphérique pour afficher les clones numériques des objets physiques occultés. De son côté, AlphaCursorAR est une technique basée sur la transparence qui révèle les objets physiques occultés en représentant numériquement les objets physiques présents au-delà d'un plan numérique dont la position est contrôlée par l'utilisateur. Enfin, vMirrorAR fournit une vue supplémentaire des objets à travers un miroir virtuel dont la position et l'orientation sont contrôlées par l'utilisateur. Les résultats révèlent que chaque technique fonctionne mieux dans différentes conditions et nous ont conduits à identifier plusieurs possibilités d'optimisation.

Pour ancrer notre travail dans un scénario réel, nous nous concentrons sur le scénario d'un modèle urbain physique augmenté, récemment au centre de différents travaux en visualisation située [4, 39, 42]. Dans ce scénario, des urbanistes travaillent à l'aménagement urbain d'un campus universitaire en utilisant des modèles 3D de ce campus fournis par des architectes. Les bâtiments et les points d'intérêt (tels que les arrêts de métro et de bus) sont alors représentés par des modèles 3D physiques fixes disposés sur une surface horizontale devant eux.

Dans ce scénario, chaque bâtiment physique est donc un référent pour les données du bâtiment (par exemple, la consommation d'énergie). Le modèle urbain, enrichi par des données numériques sur la mobilité urbaine, contient alors plusieurs référents. Lorsqu'une urbaniste, analyse le flux d'étudiants entrants et sortants d'un des bâtiments universitaires avec les stations de transport en commun situées autour, certains arrêts de bus peuvent être occultés, par exemple par un des grands bâtiments du campus. Dans de tels contextes de prise de décision, les environnements peuvent impliquer plusieurs utilisateurs ainsi qu'une combinaison de supports physiques et de données numériques. Parmi les supports physiques, on retrouve notamment des cartes ou des maquettes 3D, tandis que les données numériques proviennent de capteurs ou de simulations. Dans de telles configurations, la capacité à accéder simultanément à ces différentes ressources, qu'elles soient matérielles ou virtuelles, devient un enjeu majeur. L'utilisation de casques semi-transparents (Optical See-Through) se révèle alors cruciale, ces dispositifs permettant l'accès à ces différents types de ressources.

2 ETAT DE L'ART

Dans cette section, après avoir présenté les travaux portant sur la gestion des cibles occultées en-dehors et dans le champ de vision, nous illustrons et discutons les trois principales catégories de techniques de réduction de l'occultation dans le champ de vision identifiées dans la littérature [13] en RV et introduites précédemment : les mouvements d'objets, la transparence et les vues multiples.

2.1 Localisation d'objets situés en-dehors du champ de vision

Plusieurs travaux se sont déjà intéressés au challenge de la localisation d'objets situés en dehors du champ de vision, que ce soit sur des smartphones (2D) ou dans des casques (3D en RA et RV).

Parmi les travaux sur les smartphones, Halo [3] permet de visualiser une partie d'un cercle centré sur un objet hors du champ d'affichage, dont le rayon diminue à mesure que l'objet se rapproche. Une variante, Wedge [19], améliore la précision directionnelle en affichant un triangle isocèle au lieu d'un cercle. Des études ont montré que ces

techniques présentaient des résultats équivalents en 2D et en réalité augmentée [16]. Des techniques comme Scaled-Arrow et Stretched-Arrow [7] utilisent des flèches proportionnelles à la distance de l'objet.

Concernant les travaux dans des environnements 3D, une étude a révélé que Halo3D, une version 3D de Halo, offre les meilleures performances dans des tâches de pointage en apportant un guidage efficace [38] comparé aux techniques AroundPlot [25], indiquant la position des objets par des points sur le bord de l'écran, et Arrows, version 3D des techniques Scaled-Arrow et Stretched-Arrow. D'autres études ont exploré l'utilisation de LED dans la vision périphérique pour indiquer la direction des points d'intérêt autour du champ de vision de l'utilisateur [17, 18, 32]. Enfin, Assor et al. [2] ont présenté un espace de conception sur la visualisation de référents physiques non visibles, afin de permettre, entre autres, de générer des techniques d'interaction pour localiser des référents physiques situés en-dehors du champ de vision.

2.2 Rendu des objets occultés dans le champ de vision en RA : Diminished Reality

Par ailleurs, les techniques de Diminished Reality [10, 36] permettent aux utilisateurs de voir à travers les objets occultants en utilisant plusieurs fonctions. Ces fonctions de Diminished Reality incluent la diminution (dégradation des fonctions visuelles), la vision au travers (couvrir les objets réels avec des images de leur arrière-plan occulté), le remplacement (superposer des objets réels avec des objets virtuels), et la reconstruction (générer des images d'arrière-plan plausibles). En tant que technique de Diminished Reality, LimpidDesk [24] a été conçue pour être utilisée sur une pile de documents, permettant à l'utilisateur de visualiser n'importe quelle page de la pile sans interagir physiquement avec celle-ci. L'utilisateur a ainsi l'impression de voir à travers la page de couverture. Cependant, bien que la Diminished Reality soit conçue pour les environnements AR, les casques semi-transparents ont un champ d'affichage réduit et ne permettent qu'une occultation partielle de la réalité [27]. De plus, la mise en œuvre de la Diminished Reality dans des environnements réels est complexe et nécessite une compréhension approfondie de l'environnement et des objets physiques présents, ainsi que des capacités de traitement en temps réel pour générer des images d'arrière-plan plausibles.

Ces limitations réduisent donc grandement les possibilités d'une utilisation de la Diminished Reality dans un contexte de la RA avec des casques semi-transparents. Nous nous intéressons donc aux solutions explorées en RV. Dans les sections suivantes, nous illustrons et discutons les trois principales catégories de techniques de réduction de l'occultation dans le champ de vision identifiées dans la littérature [13] en RV.

2.3 Mouvement des objets

Dans cette catégorie, la réduction de l'occultation repose sur le déplacement, dans un environnement RV, des objets occultés, soit par un réagencement complet des objets, soit en préservant les relations spatiales d'origine entre les objets. Dans le premier cas, les objets occultés sont généralement réorganisés en grille, comme avec la technique GridWall [50]. Cependant, différentes stratégies peuvent être appliquées pour définir la zone dans laquelle les objets occultés doivent être révélés : par exemple SQUAD [26] utilise un « lancer de sphère » (par analogie à un lancer de rayon), FlowerCone [50] utilise un artéfact de sélection en forme de cône et la technique LassoGrid [50] permet aux utilisateurs de définir librement une forme de sélection.

Dans le second cas, la disposition spatiale est préservée, bien que certaines occultations puissent subsister. Avec PRECIOUS! [35], ce ne sont pas les objets qui bougent, mais l'utilisateur au sein de l'environnement virtuel, permettant une réduction de l'occultation en le rapprochant des objets. A l'inverse, avec la technique VR Gravity Zone [50], tous les objets sont translatés simultanément du point de vue de l'utilisateur. Les objets situés à une

distance inférieure à un seuil de proximité prédéfini ne sont alors plus affichés, réduisant ainsi certaines occultations. Enfin, UrbanRama [9] projette une partie du modèle urbain sur l'intérieur d'un cylindre. Ainsi, la partie avant du modèle urbain reste projeté horizontalement, tandis que l'affichage des quartiers les plus éloignés se trouve surélevé à l'intérieur du cylindre.

Plutôt que d'affecter tous les objets, certaines techniques ciblent uniquement ceux situés autour d'un artéfact contrôlé par l'utilisateur. De cette manière, Wang et al. [46] distordent la visualisation de l'environnement virtuel autour du point d'impact du rayon afin de maximiser la visibilité des objets. Avec cette idée de modifier les objets eux-mêmes, LenSelect [47] a proposé d'augmenter la taille des objets potentiellement sélectionnables, c'est-à-dire situés dans un cône de sélection du rayon, afin de réduire l'occultation partielle des objets. Enfin, McGuffin et al. [34] explorent des stratégies de déformations multiples en considérant les objets comme des multiples voxels, permettant de voir à travers eux en déplaçant plusieurs fragments des objets.

Enfin, plutôt que de déformer les objets, d'autres techniques étudient le déplacement de ces objets. La position finale de ce déplacement des objets peut être temporaire, comme avec la technique VR Smash Probe [50], ou dépendre de plusieurs attributs (taille des objets, position par rapport à l'artéfact), comme avec la 3D Explosion Probe [43]. La technique BalloonProbe [12] utilise un artéfact sphérique qui repousse les objets présents à l'intérieur de la sphère à sa surface et dessine une copie virtuelle de l'objet à sa place initiale. La technique BalloonProbe préserve les relations spatiales et permet une meilleure anticipation des mouvements des objets, ce qui en fait la technique la plus adaptée à une adaptation pour les situations décrites en introduction. En particulier, c'est la seule technique capable de maintenir une vue 3D des objets originaux en contexte. L'adaptation de la technique à la RA nécessitera d'afficher des copies virtuelles des objets physiques et de les déplacer.

2.4 Transparence

Dans cette catégorie, la réduction de l'occultation est réalisée en rendant l'objet occultant transparent, permettant ainsi à l'utilisateur de voir les objets occultés.

Par exemple, dans les contextes de visualisation de croquis architecturaux et de pièces complexes, la technique Blueprints [37] n'affiche que les contours des objets, rendant les surfaces transparentes. Cela permet de percevoir les objets derrière d'autres objets, mais peut encore entraîner des occultations lorsque trop de contours sont affichés.

Dans une autre approche, la technique See-Through [30] révèle l'arrière de n'importe quel objet physique occultant, tel qu'un écran d'ordinateur pour permettre le branchement de câbles HDMI. Cependant, cette approche ne révèle pas d'autres objets situés derrière l'objet occultant. Alternativement, les techniques RA X-Ray [29] et Cutaway [29] révèlent un objet entier à sa position réelle en rendant l'occultant transparent. Il pourrait s'agir d'un hall dans un bâtiment, d'un tiroir dans un bureau ou d'un arrêt de bus derrière un bâtiment. Néanmoins, l'utilisateur ne peut pas contrôler le niveau de transparence ou la position.

Enfin, cette approche a été généralisée avec AlphaCursor [50] pour révéler tout objet en RV placé derrière un curseur que l'utilisateur positionne dans la scène. Tous les objets placés entre l'utilisateur et le curseur deviennent transparents. Réduit à une région focale à l'intérieur du champ d'affichage en RV, FocalSelect [45] donne également à l'utilisateur un plan d'occultation mobile basé sur le même principe. Cependant, ce plan de coupe dépend du point de vue de l'utilisateur, ce qui peut entraîner l'apparition ou la disparition de la cible pendant sa sélection, contrastant avec AlphaCursor, où le plan de coupe ne bouge que à la demande de l'utilisateur.

Étant donné les limitations mises en évidence pour les autres solutions, AlphaCursor semble être une solution bien adaptée à être transférée à notre contexte d'utilisation car son utilisation correspondant à la tâche utilisateur visée : c'est la seule technique qui permet de placer un plan de coupe à un endroit voulu, de verrouiller sa position pour ensuite sélectionner un des objets révélé.

2.5 Vues Multiples

Dans cette catégorie, l'occultation est réduite en utilisant une vue supplémentaire de la scène pour compléter la vue de l'utilisateur.

Pour ce faire, une première approche consiste à offrir une vue d'ensemble de la scène depuis un autre point de vue. Les techniques RV de type Bird's Eye [15] introduisent une perspective de la scène vue de haut, permettant aux utilisateurs de percevoir les objets occultés plus efficacement en combinant une vue aérienne et leur propre vue. Alternativement, Worlds in Miniature (WIM) [44] offre une vue d'ensemble de la scène virtuelle avec un facteur d'échelle différent, permettant facilement à l'utilisateur d'adapter le point de vue. Dans les deux cas, la taille de la scène rendue est réduite, affectant alors les performances de pointage. Le principe du WIM a également été appliqué par Maslych et al. [33] à une partie seulement de la scène, définie par un cône autour du rayon de sélection.

Une deuxième approche consiste à ajouter une vue de caméra sur une zone restreinte pour mettre en évidence uniquement les éléments clés occultés. Par exemple, la Static Camera [30] est fixe dans la scène permettant d'avoir une vue stable de l'objet clé tandis que la Dynamic Camera [30] est liée à l'utilisateur lui permettant de faire évoluer sa vue en fonction de son besoin. Une combinaison de points de vue mobile et statique est illustrée dans la technique Virtual Multiview [6] : l'utilisateur peut ajuster la position d'une caméra virtuelle à sa guise. Cependant, l'ajout de telles caméras virtuelles induit une indirection : l'utilisateur interagit avec la caméra fournissant la vue supplémentaire et non avec l'objet occulté lui-même, à son emplacement.

Navidget [20] évite cette indirection en permettant aux utilisateurs de sélectionner directement un point sur l'objet et de positionner une caméra virtuelle 3D autour de celui-ci, obtenant ainsi une nouvelle perspective du point d'impact. Dans la même idée, Preview Teleport [23] fournit à l'utilisateur une vue du point d'impact de son rayon de téléportation, comparant trois positions de la caméra (perspective de haut, parabole et hauteur de l'utilisateur). Point & Portal [1] va plus loin en créant des portails, permettant à l'utilisateur de les positionner progressivement pour révéler les objets occultés. De même, avec vMirror [28], l'utilisateur positionne un miroir virtuel dans la scène en pointant vers l'emplacement des objets occultés (par exemple, derrière un mur). Ainsi, au lieu de contrôler une caméra, l'utilisateur pointe directement la zone d'intérêt.

Parmi les techniques de cette catégorie, vMirror offre un contrôle direct sur l'endroit à révéler et applique une métaphore du miroir simple à interpréter. De plus, elle a été conçue et utilisée dans un environnement où les objets sont placés sur un support horizontal, contexte très similaire au nôtre.

2.6 Synthèse

La gestion de l'occultation est un sujet déjà bien exploré dans le contexte de la réalité augmentée et de la réalité virtuelle. Les techniques de Diminished Reality, bien que prometteuses, présentent des limitations majeures, notamment en raison des contraintes imposées par les casques semi-transparentes et des difficultés d'implémentation. Il ressort également de cet état de l'art une absence de travaux comparatifs formalisés entre les trois catégories principales de techniques de réduction de l'occultation en RV : les techniques de mouvement des objets, de transparence et de vues multiples.

3 DESIGN

Dans cette section, nous présentons comment nous avons adapté et implémenté les trois techniques issues de notre analyse de la littérature sur la RV dans le contexte de la sélection de cibles physiques occultées en RA. Chaque technique correspond à une catégorie différente : BalloonProbe (Mouvement des objets), AlphaCursor (Transparence) et vMirror (Vues Multiples). Pour chaque technique, nous expliquons son fonctionnement et mettons en avant notre implémentation en RA par rapport à la technique originale en RV.

La sélection d'un objet physique occulté avec chacune de ces techniques se fait en deux étapes : l'étape de **réduction de l'occultation** consiste à révéler les objets physiques occultés, tandis que l'étape de **sélection de la cible** consiste à sélectionner une cible parmi les objets révélés. Les déplacements et pointage dans les techniques se font par des mouvements de la main dominante de l'utilisateur et le basculement entre les deux étapes est possible à tout moment grâce à un bouton contrôlé par la main non dominante. Enfin, les techniques utilisent un modèle numérique de l'espace physique conçu en amont afin de permettre leur fonctionnement.

3.1 BalloonProbeAR

BalloonProbeAR est une technique de Mouvement des objets. Comme expliqué dans la section Etat de l'Art, la technique BalloonProbe est très pertinente dans le contexte des objets physiques car elle préserve les relations spatiales entre les objets et a un effet local, permettant aux utilisateurs de se concentrer sur l'essentiel plutôt que sur l'ensemble des objets de la scène.

Dans l'étape de réduction de l'occultation, l'utilisateur pointe, avec son bras, vers le modèle physique. Une hémisphère virtuelle est affichée à l'intersection du rayon avec le sol du modèle physique. Pour chaque objet physique totalement ou partiellement inclus dans l'hémisphère, un clone virtuel de l'objet est créé et repoussé à la surface de l'hémisphère, comme illustré dans la Figure 1, donnant l'impression que l'objet physique est élevé à la surface de l'hémisphère.

Dans l'étape de sélection de la cible, l'hémisphère et les clones virtuels sont fixés dans l'environnement : le rayon contrôlé par le bras peut alors être utilisé pour sélectionner directement l'un des clones virtuels à la surface de l'hémisphère.

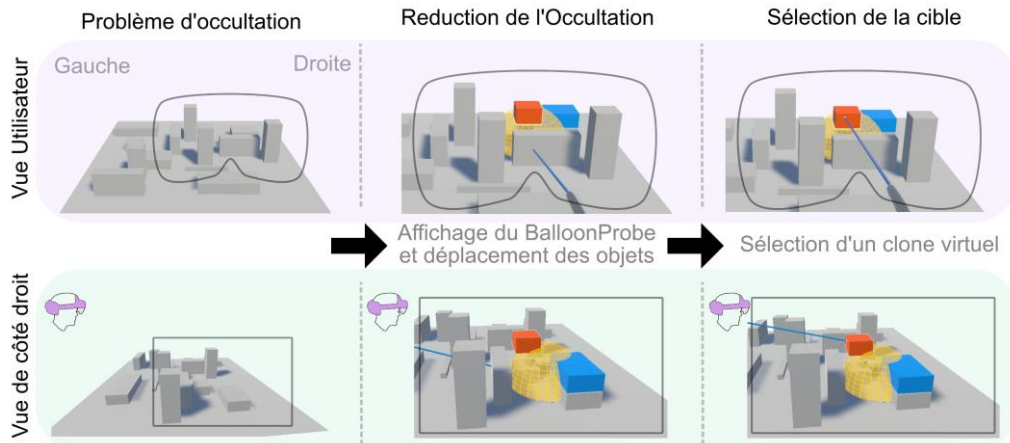


Figure 1 : Vue utilisateur et vue de côté droit de la technique BalloonProbeAR (les objets noirs et blancs sont physiques, les objets colorés sont virtuels).

3.2 AlphaCursorAR

AlphaCursorAR est une technique de Transparence. Comme expliqué dans la section Etat de l'Art, la technique AlphaCursor est pertinente dans notre contexte de RA car elle permet une exploration progressive de l'environnement, évitant ainsi une surcharge virtuelle du monde physique.

Dans l'étape de réduction de l'occultation, l'utilisateur peut librement déplacer un plan de coupe virtuel dans le modèle physique en utilisant son bras dominant : comme illustré dans la Figure 2, le plan de coupe est positionné à l'intersection du rayon avec le sol du modèle physique. Son orientation est perpendiculaire au sol et fait face à l'utilisateur. Contrairement aux implémentations en RV où les objets devant le plan sont retirés de la vue, AlphaCursorAR révèle les objets derrière le plan en affichant numériquement les objets physiques qui seraient autrement cachés.

Dans l'étape de sélection de la cible, le plan de coupe est fixé dans l'environnement, et l'utilisateur peut directement sélectionner les objets physiques occultés qui sont révélés numériquement dans le casque de RA.

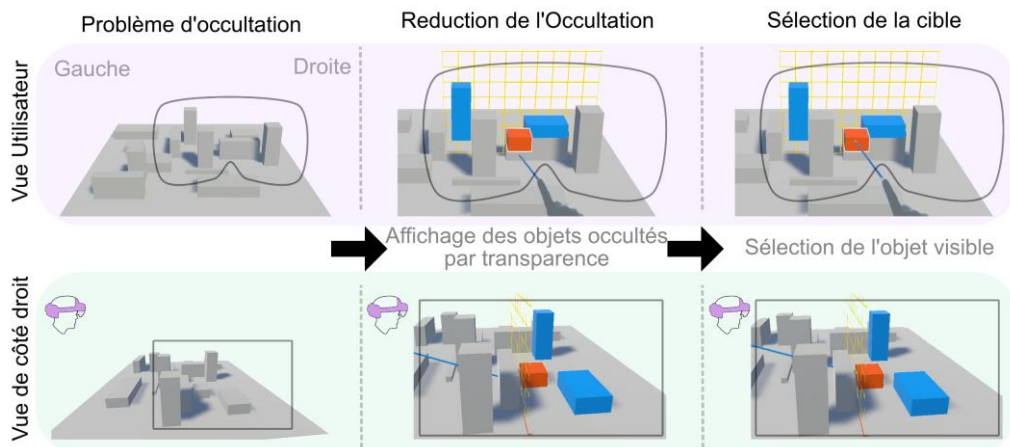


Figure 2 : Vue utilisateur et vue de côté droit de la technique AlphaCursorAR (les objets noirs et blancs sont physiques, les objets colorés sont virtuels).

3.3 vMirrorAR

vMirrorAR est une technique de Vues Multiples. Comme expliqué dans la section Etat de l'Art, la technique vMirror est pertinente dans notre contexte de RA car elle repose sur la métaphore bien connue du miroir, qui est facile à comprendre et permet une exploration par région de l'environnement, permettant ainsi de se concentrer sur l'essentiel.

Dans l'étape de réduction de l'occultation, l'utilisateur pointe avec son bras dominant vers le sol du modèle, positionnant automatiquement le miroir virtuel au-dessus des objets physiques de la scène, orienté de manière à permettre à l'utilisateur de voir le point d'impact dans le miroir (voir Figure 3). L'utilisateur peut ajuster l'orientation du miroir avec une rotation du poignet de sa main non dominante pour éviter d'éventuelles nouvelles occultations (par exemple, un objet peut être occulté dans la vue du miroir également). Parmi nos trois techniques, vMirrorAR est la seule nécessitant un ajustement de l'orientation pendant l'étape de réduction de l'occultation (ce qui n'est pas nécessaire pour les autres), correspondant à l'implémentation initiale de vMirror. Cet ajustement de l'orientation requiert alors un clic long de l'utilisateur sur le bouton contrôle par la main dominante combiné à un mouvement du poignet de sa main dominante pour appliquer les rotations correspondantes.

Dans l'étape de sélection de la cible, l'utilisateur peut directement sélectionner un objet en pointant son reflet rendu numériquement sur le miroir.

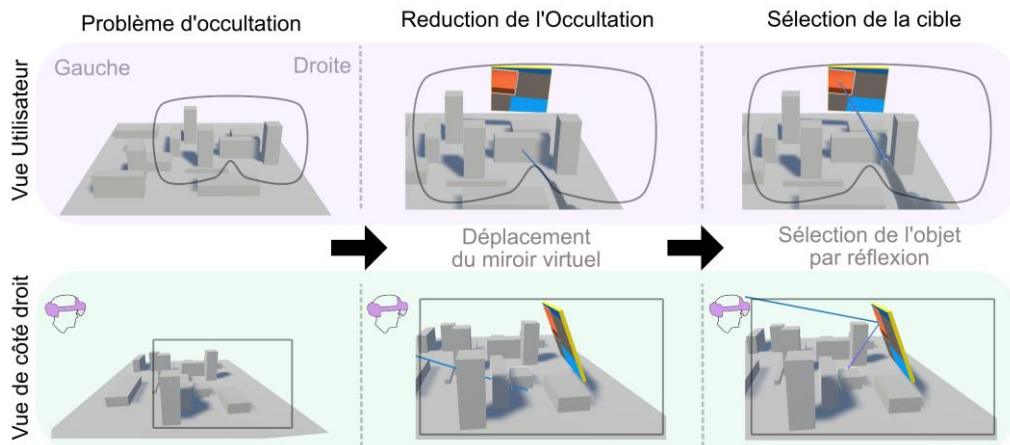


Figure 3 : Vue utilisateur et vue de côté droit de la technique vMirrorAR (les objets noirs et blancs sont physiques, les objets colorés sont virtuels).

3.4 Adaptation des techniques RV en RA : différences et spécificités

Nous détaillons dans cette section les différences majeures entre ces implémentations et leurs versions originales conçues pour la RV.

Dans nos implémentations, les objets physiques ne peuvent être déplacés par nos techniques et sont donc associés à leurs clones numériques. En conséquence, contrairement aux techniques originales, qui manipulent directement les objets numériques, nos techniques manipulent leurs clones numériques. Des paramètres de contrôle et de rendu des techniques ont également été modifiés pour mieux correspondre aux besoins de la réalité augmentée : nous les détaillons concrètement pour chacune de nos techniques ci-après.

Dans le cas de la technique BalloonProbeAR, les objets (physiques) d'intérêt restent en place et les clones numériques de ces objets sont déplacés à la surface d'un hémisphère. Contrairement à la technique originale, l'utilisateur n'a pas de contrôle sur le rayon de l'hémisphère de BalloonProbeAR étant donné qu'il peut le bouger librement sur la maquette, ce qui était impossible avec la technique RV originale BalloonProbe. Ainsi, BalloonProbeAR garde la propriété centrale de BalloonProbe qui est de « pousser les objets à proximité de leurs positions initiales ».

La technique AlphaCursorAR affiche le clone numérique des objets situés derrière le plan de coupe virtuel manipulé par l'utilisateur. La technique originale en RV masquait les objets (numériques) situés devant le plan de coupe pour permettre de voir ceux qui se trouvent derrière. AlphaCursorAR comme la technique originale en VR ne permettent pas à l'utilisateur de contrôler la largeur du plan de coupe.

Concernant la technique vMirrorAR, seuls les clones numériques des objets sont reflétés dans le miroir virtuel. La technique RV vMirror originale reflétait l'ensemble de l'environnement virtuel. La technique vMirrorAR tout comme sa version originale en VR positionne le miroir au-dessus du point d'impact du rayon de l'utilisateur et des objets. Les dimensions du miroir sans la version en réalité augmentée sont identiques à celle de la technique originale et son échelle est adaptée à la maquette.

4 ETUDE

Dans cette étude, nous comparons les avantages et les limitations des trois techniques (BalloonProbeAR, AlphaCursorAR et vMirrorAR) introduites dans la section précédente pour révéler et sélectionner des objets physiques occultés lors de l'utilisation d'un casque de réalité augmentée semi-transparent pour la visualisation située. Nous décrivons le modèle physique contenant les référents, et nous détaillons la tâche expérimentale et le protocole.

4.1 Modèle Physique



Figure 4: Vue de dessus des différentes positions cibles par rapport aux murs occultants (à gauche). Vue subjective du modèle physique utilisé dans les études (à droite).

En référence à notre scénario d'étude, la prise de décision multi-utilisateurs basée sur des ressources physiques (carte, maquettes, etc.) et numériques (données de différentes natures), nous avons construit un modèle physique à l'aide de briques LEGO. Le modèle global est composé de deux parties identiques, chaque partie contenant huit cibles rectangulaires et trois murs servant d'occultant, comme illustré dans la Figure 4. La hauteur des murs est de 67.2 mm, de sorte que les cibles situées derrière un mur restent occultées pour un utilisateur se tenant devant le modèle physique. Quatre cibles sont placées entre le premier et le deuxième mur, et quatre autres entre le deuxième et le troisième mur. De plus, nous avons considéré deux positions pour les cibles : à proximité du mur occultant avant, c'est-à-dire à 7.8 mm derrière le mur avant, et à proximité du mur occultant arrière, c'est-à-dire à 7.8 mm devant le mur arrière. Ces deux conditions créent les mêmes conditions d'occultations lorsque l'on regarde la cible de face (BalloonProbeAR, AlphaCursorAR) ou de derrière (vMirrorAR).

Ce modèle physique reproduit les occultations rencontrées dans le cadre de nos scénario d'usage, les tailles et dispositions des bâtiments étant similaires à celles rencontrées dans un modèle urbain de campus universitaire. Enfin, afin de positionner précisément chaque bâtiment et implémenter l'interaction utilisateur, nous avons créé un jeu numérique du modèle physique dans Unity 2021.3.

4.2 Tâche

L'instruction donnée aux participant était de sélectionner le plus rapidement et précisément possible chaque cible physique occultée avec la main dominante. La main dominante était suivie par le casque de RA, et un rayon était affiché en conséquence. Pour commencer un essai, les participants devaient cliquer sur un panneau numérique placé devant eux, à hauteur des yeux. Le panneau contenait les instructions pour l'essai suivant : il incluait une représentation de la position de tous les objets physiques, avec la cible de l'essai mise en évidence en bleu. Dès que le rayon quittait le panneau, l'essai commençait : le participant devait d'abord effectuer l'étape de réduction de l'occultation, puis l'étape de sélection de la cible pour pointer la cible et appuyer sur un bouton d'un contrôleur tenu

dans leur main non dominante pour valider la sélection et terminer l'essai. L'essai ne pouvait pas se terminer avant que la cible ne soit correctement sélectionnée. Comme décrit dans les sections Design et Setup, les utilisateurs pouvaient basculer entre les modes de réduction de l'occultation et de sélection de la cible.

4.3 Protocole Expérimental

L'étude a suivi un protocole intra-sujet 3x2x2, avec comme facteurs la Technique étudiée (BalloonProbeAR, AlphaCursorAR, vMirrorAR), la Distance de la cible par rapport à l'utilisateur (Proche et Lointaine) ainsi que la Position de la cible (à proximité du mur *Avant* et à proximité du mur *Arrière*). L'étude était composée de trois blocs, chacun correspondant à une technique. L'enchaînement des blocs est contrebalancé entre les participants. Au cours d'un bloc, le participant devait sélectionner trois fois chacune des 16 cibles de manière aléatoire. Par conséquent, dans chaque bloc, un participant devait sélectionner 48 cibles. En amont de chaque bloc, les participants effectuaient une tâche d'entraînement : ils devaient pointer six cibles aléatoires parmi les 16 cibles possibles. L'ensemble de l'expérience durait environ 60 minutes.

4.4 Participants

Nous avons recruté 12 participants droitiers (huit se sont auto-déclarés hommes et quatre se sont auto-déclarées femmes) âgés de 19 à 31 ans (moyenne = 25.67, écart-type = 3.11), avec une expérience en RA auto-évaluée à 2.17 sur une échelle de Likert à cinq points (un score de 1 correspondant à des participants n'ayant aucune connaissance de la RA et 5 à des participants utilisant des casques de RA de manière quasi-quotidienne). Tous travaillent dans le domaine de l'informatique. Notre étude a été validée par le comité d'éthique local et s'est conformée à leurs recommandations et procédures.

4.5 Setup

Nous avons développé une application Unity écrite en C# en utilisant la bibliothèque MRTK 2.8 avec un HoloLens 2 connecté à un ordinateur portable (Processeur i7-10810U, 32 Go de RAM) via l'application Holographic Remote. Afin de permettre aux utilisateurs de basculer entre les étapes de réduction de l'occultation et de sélection de la cible, nous avons utilisé une manette Nintendo Switch. Au début de l'essai, l'étape de réduction de l'occultation est automatiquement activée ; l'utilisateur passe à l'étape de sélection de la cible en appuyant et en relâchant l'un des boutons de la manette. Si nécessaire, les utilisateurs peuvent revenir à l'étape de réduction de l'occultation en appuyant et en maintenant le bouton. Relâcher le bouton réactive automatiquement l'étape de sélection de la cible. Nous avons choisi d'utiliser une manette car l'utilisation du pincement de doigt de l'utilisateur pourrait interférer avec le pointage et réduire sa précision. Cette manette est connectée à l'ordinateur portable via Bluetooth avec le pilote BetterJoy 7.1. Pour localiser précisément le modèle physique, nous avons utilisé un QRCode et le package NuGet QR code, ce qui nous a permis de faire correspondre précisément sa position avec celle de son jumeau virtuel. Les participants sont restés debout tout au long de l'étude à une distance de 135 cm de la table, la distance minimale requise pour que toutes les cibles soient occultées pour les participants mesurant moins de 2 mètres.

4.6 Données Collectées

Au début de l'étude, nous avons recueilli des informations sur les participants (âge, genre, et expérience en RA).

Pour comparer les trois techniques (BalloonProbeAR, AlphaCursorAR et vMirrorAR), nous avons utilisé différentes métriques, quatre mesures habituelles des évaluations de sélection de cible [5], la mesure de la charge de travail et des préférences des utilisateurs.

La première mesure est celle du temps de réalisation total de la tâche par l'utilisateur. Ce temps de réalisation total est décomposé en deux autres mesures : le temps de réduction de l'occultation (temps passé dans l'étape de réduction de l'occultation) et le temps de sélection de la cible (temps passé dans l'étape de sélection de la cible). Nous avons donc complété notre analyse en considérant ces deux métriques séparément. Par la suite, nous avons procédé à l'analyse du taux d'erreur (pourcentage d'essais dans lesquels au moins une cible a été sélectionnée par erreur) en suivant la même méthode.

Enfin, nous avons réalisé l'analyse des trois mesures subjectives récoltées par technique : le classement des techniques entre elles ; les réponses au questionnaire NASA-TLX [21] (version non pondérée) pour évaluer la charge de travail de la tâche ; ainsi que les retours subjectifs des participants sur les techniques.

4.7 Analyse des Données

Pendant l'étude, nous avons collecté 144 essais par utilisateur (48 cibles x 3 techniques), soit un total de 1728 essais. Nous avons utilisé l'ANOVA (F , p , η^2) et des T tests appariés, sauf lorsque l'hypothèse de normalité était violée (test de normalité de Shapiro-Wilk) même après l'utilisation d'une fonction logarithmique. Dans ces cas, nous avons effectué un test de Friedman (χ^2 , p , n), suivi d'un test de Wilcoxon apparié avec correction de Bonferroni. Tous les intervalles de confiance sont à 95 % et calculés avec une méthode de BCa Bootstrap avec 10 000 répliquations. Notre méthode de Bootstrap utilise une approche déterministe. Avant l'analyse des données, nous avons procédé au remplacement des valeurs aberrantes de nos données en utilisant la méthode des trois sigmas, c'est-à-dire les valeurs supérieures à trois fois l'écart-type par rapport à la moyenne. Cette opération a remplacé 36 essais sur l'ensemble du jeu de données de 1728 essais (2 %).

4.8 Résultats

Nos résultats révèlent des différences claires entre les cibles à proximité du mur *Avant* et celles à proximité du mur *Arrière*. Par conséquent, nous avons divisé l'analyse du temps de réalisation en fonction de ce facteur.

Tous les résultats sont détaillés en annexe (résultats des tests de Friedman, moyennes, IC et résultats des tests de Wilcoxon).

4.8.1 Temps de réalisation total

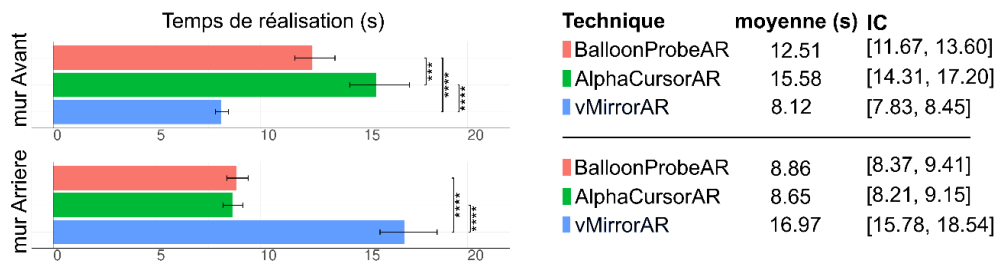


Figure 5 : Temps de réalisation moyen par technique et position de la cible (95 % IC).

Nous avons trouvé des différences statistiquement significatives, en termes de temps de réalisation total entre les techniques, pour la sélection des cibles à proximité du mur *Avant* ($\chi^2 = 18.17$; $p = 0.0001$) et pour la sélection de cibles à proximité du mur *Arrière* ($\chi^2 = 18.17$; $p = 0.0001$), comme illustré dans la Figure 5.

Avec les cibles à proximité du mur *Avant*, les analyses post hoc ont établi que la sélection de cibles avec vMirrorAR (8,12 s [IC = 7,83 ; 8,45]) nécessitait significativement moins de temps qu'avec BalloonProbeAR (12,51 s [IC = 11,67 ; 13,60]) et AlphaCursorAR (15,58 s [IC = 14,31 ; 17,20]). Elles ont également établi que BalloonProbeAR nécessitait moins de temps qu'AlphaCursorAR.

Avec les cibles à proximité du mur *Arrière*, les analyses post hoc ont établi que la sélection de cibles avec vMirrorAR (16,97 s [IC = 15,78 ; 18,54]) nécessitait significativement plus de temps de réalisation qu'avec BalloonProbeAR (8,86 s [IC = 8,37 ; 9,41]) et AlphaCursorAR (8,65 s [IC = 8,21 ; 9,15]), entre lesquelles aucune différence significative ne pouvait être établie.

Ces résultats restent vrais lorsque l'on tient compte de la distance de la cible par rapport à l'utilisateur (Proche et Lointaine), exception faite qu'aucune différence significative ne peut être établie entre les techniques BalloonProbeAR et AlphaCursorAR dans le cas de cibles Proches de l'utilisateur et à proximité du mur *Avant*.

Enfin, en considérant chaque technique séparément, nous observons des différences statistiquement significatives en termes de temps de réalisation total entre les cibles à proximité du mur *Avant* et celles à proximité du mur *Arrière*. L'analyse post hoc a révélé que la sélection de cibles à proximité du mur *Avant* nécessitait plus de temps que la sélection de cibles à proximité du mur *Arrière* avec BalloonProbeAR et AlphaCursorAR. Inversement, la sélection de cibles à proximité du mur *Arrière* avec vMirrorAR nécessitait plus de temps que la sélection de cibles à proximité du mur *Avant*.

En résumé, l'utilisation de vMirrorAR minimise le temps de réalisation lors de la sélection d'une cible à proximité du mur *Avant*, mais est surpassée par BalloonProbeAR et AlphaCursorAR pour les cibles à proximité du mur *Arrière*. Nous analysons plus en détail ce résultat dans la section suivante.

4.8.2 Raffinement de l'analyse du temps total de réalisation pour chaque technique

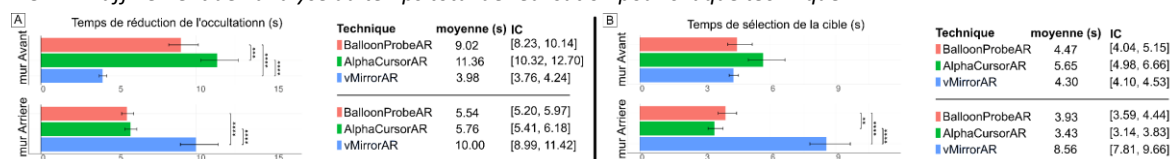


Figure 6 : Temps de réduction de l'occultation (gauche) et de sélection de la cible (droite) par technique et position de la cible (95% IC).

Pour comprendre les éléments des techniques qui affectent différemment leurs performances en fonction de la position des cibles, nous considérons deux mesures supplémentaires : le **temps de réduction de l'occultation**, correspondant au temps passé dans l'étape de réduction de l'occultation, et le **temps de sélection de la cible**, correspondant au temps passé dans l'étape de sélection de la cible.

vMirror est la technique la plus performante pour les cibles à proximité du mur *Avant* en termes de temps de réalisation. Elle reste la meilleure technique en termes de temps de réduction de l'occultation (voir les parties supérieures en bleu de Figure 5 et Figure 6). Cela valide le potentiel de l'utilisation d'une vue supplémentaire.

Cependant, avec les cibles à proximité du mur *Arrière*, les participants rencontrent des difficultés à sélectionner les cibles. Le temps de réalisation est significativement plus long qu'avec les autres techniques, et cela reste vrai en

termes de temps de réduction de l'occultation et de temps de sélection de la cible (voir les parties inférieures de Figure 5 et Figure 6 en bleu). Le miroir affiche une vue arrière de la scène, ainsi le mur *Arrière* impacte la visibilité des cibles à sa proximité et nécessite plusieurs ajustements de la position du miroir, augmentant ainsi le temps de réduction de l'occultation.

De plus, une fois la cible visible, le participant doit déplacer le pointeur vers le haut pour atteindre le miroir et sélectionner la cible. Cela entraîne un geste plus large entre les deux étapes d'interaction qu'avec les deux autres techniques, augmentant ainsi le temps de sélection de la cible.

BalloonProbeAR est la deuxième technique la plus performante en termes de temps de réalisation et de temps de réduction de l'occultation avec les cibles à proximité du mur *Avant* (voir les parties supérieures de Figure 5 et Figure 6-A en rouge). L'utilisation de la technique de réduction de l'occultation est insuffisante pour révéler les cibles occultées : les cibles ne sont pas suffisamment élevées pour être visibles et restent partiellement occultées par le mur *Avant*. Un positionnement précis de l'hémisphère est donc nécessaire pour révéler avec succès les cibles, augmentant ainsi le temps de réduction de l'occultation.

En revanche, pour les cibles à proximité du mur *Arrière*, BalloonProbeAR obtient de meilleurs résultats que vMirrorAR pour chacune des deux étapes, et aucune différence claire ne peut être établie avec AlphaCursorAR, quelle que soit l'étape (voir Figure 6 en rouge).

Enfin, avec **AlphaCursorAR**, la sélection de cibles à proximité du mur *Avant* est moins efficace qu'avec les deux autres techniques, et le résultat reste vrai lorsque l'on considère le temps de réduction de l'occultation (voir les parties supérieures des Figure 5 et Figure 6-A en vert). En fait, révéler une cible à proximité du mur *Avant* nécessite de positionner précisément le plan de coupe virtuel entre la cible et le mur occultant : cette tâche est particulièrement difficile à réaliser et justifie l'allongement du temps requis dans l'étape de réduction de l'occultation.

À l'inverse, avec les cibles à proximité du mur *Arrière*, AlphaCursorAR est plus performant que vMirrorAR à chaque étape (réduction de l'occultation et sélection de la cible), et aucune différence significative ne peut être établie avec BalloonProbeAR (voir les parties inférieures des Figure 5 et Figure 6 en vert).

4.8.3 Taux d'erreur

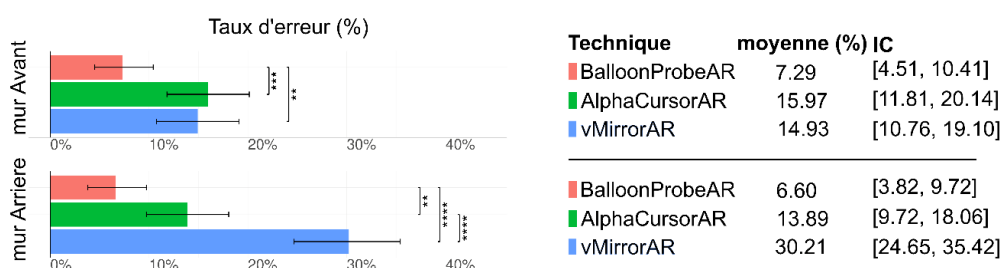


Figure 7 : Taux d'erreur moyenne par technique et position de la cible (95% IC).

Nous avons analysé les taux d'erreur lors de l'interaction avec les techniques, c'est-à-dire le pourcentage d'essais pour lesquels au moins une sélection était erronée. Nous avons trouvé des différences statistiquement significatives entre les techniques en termes de taux d'erreur pour les cibles à proximité du mur *Avant* ($\chi^2(2) = 6,95$, $p = 0,031$) et pour les cibles à proximité du mur *Arrière* ($\chi^2(2) = 13,7$, $p = 0,00107$).

Pour les cibles à proximité du mur *Avant*, les analyses post hoc ont établi que l'utilisation de BalloonProbeAR (7,29 % [IC = 4,51 ; 10,41]) entraînait un taux d'erreur plus faible que vMirrorAR (14,93 % [IC = 10,76 ; 19,10]) et AlphaCursorAR (15,97 % [IC = 11,81 ; 20,14]). Aucune différence statistique n'a pu être établie entre vMirrorAR et AlphaCursorAR.

De même, pour les cibles à proximité du mur *Arrière*, l'utilisation de BalloonProbeAR (6,60 % [IC = 3,82 ; 9,72]) entraînait également un taux d'erreur plus faible que vMirrorAR (30,21 % [IC = 24,65 ; 35,42]) et AlphaCursorAR (13,89 % [IC = 9,72 ; 18,06]). De plus, l'utilisation de vMirrorAR entraînait un taux d'erreur plus élevé qu'AlphaCursorAR.

Enfin, en considérant chaque technique séparément, les résultats ont révélé une différence statistiquement significative en termes de taux d'erreur entre les deux positions de cible (à proximité du mur *Arrière* et à proximité du mur *Avant*), uniquement pour la technique vMirrorAR ($\chi^2(2) = 11, p = 0,0009$). L'analyse post hoc a indiqué que la sélection de cibles à proximité du mur *Arrière* avec la technique vMirrorAR produisait plus d'erreurs que les cibles à proximité du mur *Avant*.

En résumé, l'utilisation de BalloonProbeAR entraîne un taux d'erreur significativement plus faible que les autres techniques. La position de la cible (à proximité du mur *Avant* et à proximité du mur *Arrière*) impacte ce résultat : selon les conditions, BalloonProbeAR minimisait significativement le taux d'erreur ou offrait un taux d'erreur similaire à celui des autres techniques. De plus, avec les cibles à proximité du mur *Arrière*, vMirrorAR entraîne un taux d'erreur significativement plus élevé que les autres techniques. La position des cibles ne semblait pas impacter le taux d'erreur des autres techniques.

4.8.4 Classement des Techniques

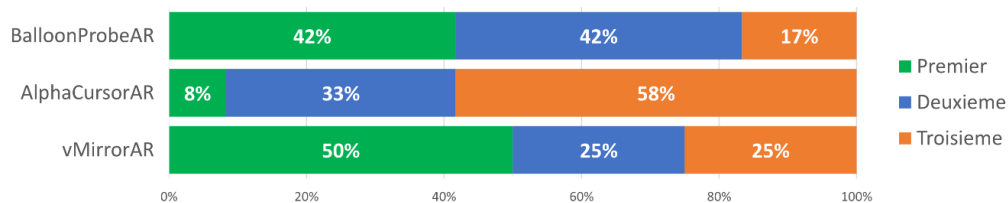


Figure 8 : Classement des techniques évaluées.

À la fin de chaque bloc, les utilisateurs ont été invités à classer les trois techniques. Nous avons analysé ce classement en calculant pour chaque technique la somme des rangs obtenus. Le test de Friedman sur le classement entre les techniques n'a révélé aucune différence significative entre les rangs des techniques ($\chi^2(2) = 4,5, p = 0,105$). Cependant, il apparaît que vMirror et BalloonProbeAR sont plus souvent classés premier que AlphaCursorAR, qui est la technique qui est le plus souvent classée dernière, comme illustrée dans la Figure 8.

4.8.5 NASA-TLX

Nous avons effectué une ANOVA pour évaluer les différences dans les dimensions subjectives du NASA-TLX entre les techniques. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les dimensions.

4.8.6 Retours subjectifs sur les techniques

À la fin de chaque bloc, nous avons demandé aux participants de donner leur avis sur les techniques en soulignant les points positifs et négatifs.

BalloonProbeAR. Les participants ont indiqué que le placement de l'artéfact avec cette technique est facile et permet un pointage presque direct sur une cible occultée : « *Lorsque la sphère est correctement positionnée, la cible peut être cliquée directement sans avoir à déplacer le rayon à nouveau* » (P10). Elle permet également aux utilisateurs d'explorer le modèle partie par partie : « *Si vous faites passer la demi-sphère à travers tout le modèle, vous pouvez voir tous les objets* » (P9). Cependant, les participants ont noté des problèmes avec les cibles à proximité du mur Avant : « *Comme il [l'hémisphère] déplace les objets vers le haut, il [le mur Avant] peut les garder cachés si la demi-sphère est mal placée* » (P1).

AlphaCursorAR. Cette technique a été fréquemment décrite comme intuitive et simple : « *Simple à comprendre et facile à utiliser* » (P2), et : « *Clair et facile à comprendre, pas de confusion* » (P9). Globalement, elle a été appréciée pour les cibles à proximité du mur Arrière (P6 : « *Extrêmement pratique pour les cibles à l'arrière* ») et les cibles proches de l'utilisateur (P12 : « *Facile d'atteindre les cibles proches de soi* »). Cependant, les participants ont signalé des limitations, en particulier avec les cibles à proximité du mur Avant : « *Nécessite une précision excessive lorsque l'objet est derrière un occultant* » (P7), et « *C'est compliqué de positionner correctement le plan de coupe entre un élément proche du mur et le mur pour voir l'élément souhaité* » (P3). Trois participants ont noté une fatigue du bras pendant l'étape de réduction de l'occultation : « *Le bras bouge continuellement (tremble) en raison de son maintien en l'air* » (P1), « *Trop exigeant musculairement* » (P6) et : « *Fait mal au bras* » (P8).

vMirrorAR. D'une part, la technique vMirrorAR a été décrite comme intuitive et efficace, en particulier pour les cibles à proximité du mur Avant : « *Excellent pour atteindre les cibles juste derrière un mur* » (P4). Les participants ont également signalé un sentiment d'efficacité et de contrôle accrus après une période d'utilisation : « *Le sentiment d'être plus efficace une fois maîtrisé* » (P3) et « *L'impression de pouvoir atteindre n'importe quel élément grâce à l'orientation changeante du miroir* » (P6). D'autre part, les retours des participants ont mis en évidence un effet miroir perturbant : « *L'effet miroir inverse tout, ce qui complique les choses* » (P10), et « *Le mécanisme du miroir est super frustrant au début parce que l'image est inversée* » (P1). De plus, la capacité à ajuster l'orientation du miroir a introduit des difficultés et des hésitations : « *Hésitations entre changer la rotation du miroir pour obtenir un meilleur angle ou essayer de cliquer directement sur la cible* » (P4).

4.9 Synthèse des résultats

Nos travaux avaient pour objectif d'adapter des techniques de réduction d'occultation en RV pour la sélection de référents physiques en RA ainsi que d'étudier les bénéfices des techniques de réduction de l'occultation pour la sélection d'objets physiques occultés en RA en tenant compte d'aspects quantitatifs et qualitatifs. En premier lieu, il apparaît que la position de la cible a un impact fort sur l'efficacité des trois techniques. Lorsque la cible est à proximité du mur Avant, l'occultation frontale affecte considérablement l'utilisation de BalloonProbeAR et AlphaCursorAR. Inversement, lorsqu'elle est à proximité du mur Arrière, l'occultation résultante affecte l'efficacité de vMirrorAR.

L'analyse affinée nous a permis de préciser les raisons pour lesquelles l'efficacité diminuait dans certaines conditions : l'étape de réduction de l'occultation est affectée par la proximité du mur Avant avec BalloonProbeAR et AlphaCursorAR, tandis que les deux étapes, réduction de l'occultation et sélection de la cible, sont affectées par la proximité du mur Arrière avec vMirrorAR.

Du point de vue du taux d'erreurs, quelle que soit la position des cibles (à proximité du mur Arrière ou Avant), BalloonProbeAR minimise le taux d'erreur par rapport aux deux autres techniques. La différence des taux d'erreur entre les techniques AlphaCursorAR et BalloonProbeAR peut être attribuée à deux facteurs principaux.

Premièrement, les retours subjectifs des utilisateurs indiquent une fatigue musculaire ainsi que des tremblements du bras lors de l'utilisation d'AlphaCursorAR, ce qui affecte inévitablement la précision du pointage. Deuxièmement, contrairement à AlphaCursorAR, BalloonProbeAR présente les clones numériques des objets physiques au-dessus de la maquette physique, ce qui permet un pointage des cibles dans un environnement moins encombré qu'avec AlphaCursorAR, où tous les objets, tant physiques que numériques, coexistent.

Bien que l'analyse des résultats n'ait pas pu établir de différences significative, AlphaCursorAR a été le plus souvent classé en troisième position et a tendance à provoquer plus de frustration que les autres techniques. Enfin, ces observations sont confirmées par les retours subjectifs des participants, donnant plus de profondeur aux résultats quantitatifs et nous permettant d'avancer, en suivant, des pistes de conceptions de nouvelles techniques de réduction de l'occultation.

5 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

5.1 Impacts de nos résultats sur le scénario d'usage

Les résultats de notre étude présentent des implications pour notre scénario d'usage d'un modèle urbain physique augmenté. Tout d'abord, la position des objets occultés par rapport à leurs occultants influence fortement l'efficacité des techniques de réduction de l'occultation. En effet, lorsque les cibles sont proches du mur *Avant*, l'occultation affecte négativement les performances des techniques BalloonProbeAR et AlphaCursorAR. À l'inverse, lorsque les cibles sont proches du mur *Arrière*, l'occultation résultante affecte négativement les performances de vMirrorAR. La technique BalloonProbeAR minimisant le taux d'erreurs indépendamment de la position des cibles, cette technique pourrait être privilégiée pour des tâches critiques où la précision est essentielle, comme la sélection de bâtiments spécifiques pour analyser les flux de mobilité.

Les retours subjectifs des participants suggèrent d'éviter l'utilisation d'AlphaCursorAR, notant une fatigue du bras pendant l'étape de réduction de l'occultation et classant cette technique dernière en termes de préférence.

Enfin, l'utilisation de la technique vMirrorAR semble être prometteuse pour une utilisation où les bâtiments occultés sont situés à une distance suffisante de leurs occultants, permettant son utilisation sans besoin d'ajuster sa rotation.

5.2 Pistes de conception de nouvelles techniques de réduction de l'occultation

Si les performances observées des trois techniques étudiées peuvent être satisfaisante selon certains points, il n'en reste pas moins qu'elles ne permettent pas de réduire efficacement les occultations d'objets physiques occultés étudiés. Dans ce sens, nous avons élaboré des pistes de conception permettant de palier les limitations observées des techniques.

5.2.1 Changer la pente de BalloonProbeAR

L'analyse des résultats de BalloonProbeAR montrent des faiblesses significatives, en particulier avec les cibles à proximité du mur *Avant*, en termes de temps de réduction de l'occultation. Ces cibles restent fréquemment occultées en raison de l'angle d'élévation insuffisant de l'artéfact, qui ne parvient pas à séparer rapidement et efficacement les cibles de l'occultant.

Ainsi, un travail sur l'angle d'élévation de l'artéfact semble être une bonne approche d'amélioration de la technique BalloonProbeAR. Initialement basée sur un hémisphère. La variation de la forme de l'artéfact vers un cône

permettrait alors une variation de cette pente de manière simple et accélérée. Si une technique proposant un artéfact à pente ajustable par l'utilisateur (de concave à convexe) pourrait contrebalancer positivement les résultats de BalloonProbeAR, il serait en premier lieu pertinent d'étudier tout d'abord des performances de plusieurs versions de cette techniques proposant chacune un cône différent. Là où les performances d'une technique basée sur un cône concave devraient s'approcher de celles observées pour BalloonProbeAR, l'utilisation d'un cône droit, ou convexe, devrait se démarquer par l'effet d'une pente plus forte à proximité du sommet de l'artéfact et ainsi une séparation plus rapide des cibles et de leurs occultants.

Enfin, et plus simplement, la variation de la hauteur de l'artéfact a un impact sur sa pente. Cependant, une trop grande hauteur impacterait négativement la préservation du lien spatial entre les objets, pourrait interférer avec des données numériques affichées au-dessus de la maquette et augmenterait le temps passé lors de l'étape de sélection de la cible (la cible pouvant alors être plus loin de la surface du modèle physique).

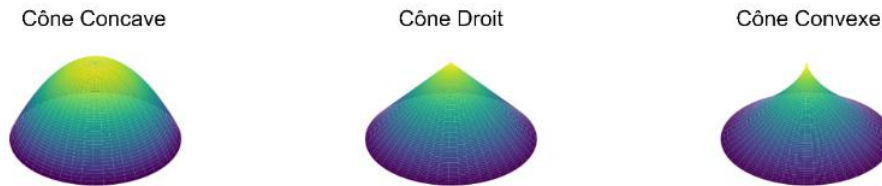


Figure 9: Illustrations des différents types de cônes possible en guise d'artéfact.

5.2.2 Une précision en deux temps avec AlphaCursorAR

L'analyse des résultats d'AlphaCursorAR montrent que cette technique montre des performances similaires ou pires que celles de BalloonProbeAR. Ajouté à ceci, cette technique est celle qui est le moins bien classée (classée première une fois, deuxième quatre fois et dernière sept fois). Ces performances faibles suggèrent que cette technique n'est pas optimale pour la sélection d'objets physiques occultés en RA.

Cependant, une amélioration potentielle serait de reconcevoir la manière d'interagir avec la technique lors de l'étape de réduction de l'occultation. Inspiré de la technique TapTap [41], l'étape de réduction de l'occultation pourrait être décomposée en deux sous-étapes : une première, similaire à la solution actuelle, permettrait à l'utilisateur de placer grossièrement le plan de coupe ; une deuxième étape permettrait à l'utilisateur de placer finement ce plan de coupe d'une façon qui serait moins exigeante musculairement. Cette deuxième sous-étape pourrait alors se passer sur le plan physique de la table ou sur le bras de l'utilisateur (comme illustré Figure 10) en tant que support d'interaction, limitant ainsi le temps de pointage en l'air que l'on sait fatiguant [22].

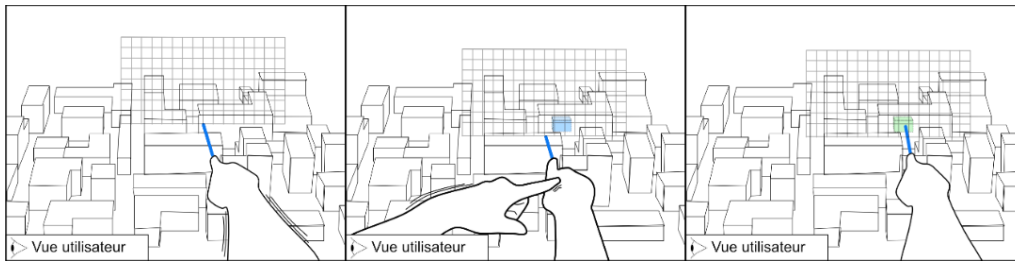


Figure 10 : Illustrations des différentes étapes de sélection d'une cible avec l'amélioration proposée d'AlphaCursorAR.

5.2.3 Changer le paradigme de vMirrorAR

Les résultats de la technique vMirrorAR sont inefficaces : les utilisateurs doivent souvent modifier l'orientation du miroir virtuel pour sélectionner correctement la cible, ce qui est chronophage. De plus, les participants ont signalé un effet négatif de l'effet miroir.

Une première amélioration de cette technique consisterait à réduire le besoin d'ajustement en plaçant le miroir à un angle fixe de 45° et au niveau des yeux de l'utilisateur, offrant une vue de dessus de la cible. Deuxièmement, la distance entre le rayon et le miroir virtuel doit être réduite pour économiser du temps de sélection. En ce sens, ces deux objectifs sont contradictoires, à moins de changer de paradigme. Le paradigme du portail, présenté dans l'état de l'art avec Point & Portal [1], permet d'afficher un nouveau point de vue à l'utilisateur, sans l'effet miroir qui « complique les choses » selon les participants.

Basé sur ce nouveau paradigme, afin de réduire le temps passé à ajuster l'orientation du miroir, il serait alors préférable, dans le contexte présenté dans ces travaux, d'adopter et de fixer une vue de dessus, c'est-à-dire perpendiculaire au point d'impact du rayon sur le sol du modèle physique. Ce nouveau point de vue est particulièrement adapté aux scénarios impliquant des objets physiques 3D posés sur un plan unique, comme un modèle urbain, car il offre une vue sans risque de nouvelle occlusion.

Ensuite, afin de minimiser le temps de sélection de la cible, le rendu de la vue peut se placer directement sur le rayon de l'utilisateur. Néanmoins, le rendu de cette vue sur le rayon apporte une nouvelle occultation, numérique, du modèle physique autour du point d'impact et peut diminuer le bénéfice des deux améliorations considérées : le point de vue et la position de la vue.

En résumé et comme illustré en Figure 11 cette nouvelle technique prendrait la forme d'une vue de dessus autour du point d'impact affichée sur une fenêtre située sur le rayon. Lors de l'étape de réduction de l'occlusion, les utilisateurs pointeraient avec leur bras dominant vers le sol du modèle, permettant d'obtenir une vue de dessus autour du point d'impact. Ainsi, lors de l'étape de sélection de la cible les utilisateurs sélectionneraient directement un objet en le pointant dans la fenêtre.

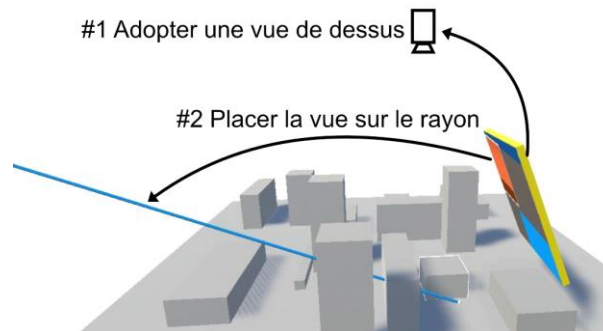


Figure 11: Illustration des changements proposés à la technique vMirrorAR.

5.3 Perspectives

En marge de cette étude et des pistes de conception proposées, nous identifions deux pistes majeures. Tout d'abord, lors de notre étude, nous nous sommes concentrés sur des référents physiques de petite taille disposés sur un plan horizontal. Si ces paramètres sont particulièrement cohérents au regard de notre scénario de modèle urbain physique augmenté, il serait néanmoins intéressant d'étudier les performances des techniques évaluées ici dans un

environnement taille réelle où les référents physiques pourrait être dispersés selon plusieurs hauteurs, occultés autant par des occultants fixes (un mur, un bâtiment) que par des occultants mobiles (une voiture, un passant). Dans de telles configurations, le placement semi-automatique au-dessus de la cible du vMirrorAR ne serait peut-être pas pertinent et nécessiterait une nouvelle réflexion.

Enfin, dans cette étude, nous nous sommes seulement concentrés sur les occultations par devant et derrière. Si une extension à l'occultation sur le côté semble pouvoir être réalisée aisément compte tenu des propositions de conception évoquées plus haut, ce n'est pas le cas pour les situations dans lesquelles l'objet est occulté de toute part (un capteur dans une boîte par exemple) ou par-dessus (des tuyaux de canalisation sous la route). De travaux futurs devraient s'attarder sur ces cas d'occultations qui sont présents dans de nombreux scénarios liés à la RA tels que la maintenance augmentée (ex : tuyauterie de gaz) ou le suivi de consommation dans de grands bâtiments (par exemple une gare de train).

6 CONCLUSION

Dans ce papier, nous explorons des techniques de réduction de l'occultation pour révéler et sélectionner des référents physiques occultés en réalité augmentée. À cette fin, nous avons d'abord identifié, adapté et évalué trois techniques représentatives de réduction de l'occultation; BalloonProbeAR, AlphaCursorAR et vMirrorAR; correspondant aux trois principales catégories de la littérature : mouvement des objets, transparence et vues multiples. Les résultats ont montré qu'aucune de ces techniques n'était bien adaptée à la sélection d'objets physiques occultés en réalité augmentée. En effet, il apparaît que la position de la cible a un impact fort sur l'efficacité des techniques étudiées, tant sur le temps de sélection total d'une cible occultée que sur le taux d'erreur lors de cette sélection ainsi que sur les retours subjectifs des participants. Puis, basé sur une analyse de leurs limitations et de leurs points forts nous avons proposé plusieurs pistes de conceptions de nouvelles techniques de réduction de l'occultation pour la sélection de référents physiques en réalité augmentée et des perspectives pour élargir la portabilité de nos résultats à d'autres situations.

REMERCIEMENTS

Ces travaux s'inscrivent dans le projet Vilagil-Aménagement Urbain, avec le soutien du Gouvernement Français dans le cadre du programme Territoire d'Innovation, une action du Grand Plan d'Investissement adossé à France 2030, de Toulouse Métropole et du GIS neOCampus de l'Université de Toulouse et avec le soutien du Projet ANR INTERPLAY (ANR -21-CE33-0022).

REFERENCES

- [1] Daniel Ablett, Andrew Cunningham, Gun A. Lee, and Bruce H. Thomas. 2023. Point & Portal: A New Action at a Distance Technique For Virtual Reality. In *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, October 2023. 119–128. <https://doi.org/10.1109/ISMAR59233.2023.00026>
- [2] Ambre Assor, Arnaud Prouzeau, Martin Hachet, and Pierre Dragicevic. Handling Non-Visible Referents in Situated Visualizations.
- [3] Patrick Baudisch and Ruth Rosenholtz. 2003. Halo: a technique for visualizing off-screen objects. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '03)*, April 05, 2003. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 481–488. <https://doi.org/10.1145/642611.642695>
- [4] Mohamed Reda Benkhelifa, Emmanuel Dubois, Louis-Pierre Bergé, and Marcos Serrano. 2025. Augmented urban models: Investigating how data layout and link to the physical referent impact visual search in augmented reality. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 203, (September 2025), 103556. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2025.103556>
- [5] Joanna Bergström, Tor-Salve Dalsgaard, Jason Alexander, and Kasper Hornbæk. 2021. How to Evaluate Object Selection and Manipulation in VR? Guidelines from 20 Years of Studies. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21)*, May 07, 2021. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–20. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445193>
- [6] Natan Luiz Paetzhold Berwaldt, Gabriel Di Domenico, and Cesar Tadeu Pozzer. 2024. Virtual MultiView Panels for Distant Object Interaction and Navigation in Virtual Reality. In *Proceedings of the 25th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR '23)*, January 06, 2024. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 88–95. <https://doi.org/10.1145/3625008.3625023>
- [7] Stefano Burigat, Luca Chittaro, and Silvia Gabrielli. 2006. Visualizing locations of off-screen objects on mobile devices: a comparative evaluation of three approaches. In *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '06)*, September 12, 2006. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 239–246. <https://doi.org/10.1145/1152215.1152266>
- [8] Florent Cabric, Emmanuel Dubois, Pourang Irani, and Marcos Serrano. 2019. TouchGlass: Raycasting from a Glass Surface to Point at Physical Objects in Public Exhibits. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2019 (Lecture Notes in Computer Science)*, 2019. Springer International Publishing, Cham, 249–269. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29387-1_15
- [9] Shaoyu Chen, Fabio Miranda, Nivan Ferreira, Marcos Lage, Harish Doraiswamy, Corinne Brenner, Connor Defanti, Michael Koutsoubis, Luc Wilson, Ken Perlin, and Claudio Silva. 2022. UrbanRama: Navigating Cities in Virtual Reality. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 28, 12 (December 2022), 4685–4699. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2021.3099012>
- [10] Yi Fei Cheng, Hang Yin, Yukang Yan, Jan Gugenheimer, and David Lindlbauer. 2022. Towards Understanding Diminished Reality. In *CHI Conference on Human Factors in Computing*

- Systems*, April 29, 2022. ACM, New Orleans LA USA, 1–16.
<https://doi.org/10.1145/3491102.3517452>
- [11] Dragos Datcu and Stephan Lukosch. 2013. Free-hands interaction in augmented reality. In *Proceedings of the 1st symposium on Spatial user interaction (SUI '13)*, July 20, 2013. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 33–40.
<https://doi.org/10.1145/2491367.2491370>
 - [12] Niklas Elmqvist. 2005. BalloonProbe: reducing occlusion in 3D using interactive space distortion. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology (VRST '05)*, November 07, 2005. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 134–137. <https://doi.org/10.1145/1101616.1101643>
 - [13] Niklas Elmqvist and M. Eduard Tudoreanu. 2006. Evaluating the effectiveness of occlusion reduction techniques for 3D virtual environments. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology (VRST '06)*, November 01, 2006. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 9–18.
<https://doi.org/10.1145/1180495.1180500>
 - [14] Aluna Everitt, Anne Roudaut, Kasper Hornbæk, Mike Fraser, and Jason Alexander. 2022. Investigating pointing performance for tangible surfaces with physical 3D targets. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.* 6, ISS (November 2022), 583:617–583:639.
<https://doi.org/10.1145/3567736>
 - [15] Shinji Fukatsu, Yoshifumi Kitamura, Toshihiro Masaki, and Fumio Kishino. 1998. Intuitive control of “bird’s eye” overview images for navigation in an enormous virtual environment. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology (VRST '98)*, November 02, 1998. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 67–76.
<https://doi.org/10.1145/293701.293710>
 - [16] Uwe Gruenefeld, Abdallah El Ali, Susanne Boll, and Wilko Heuten. 2018. Beyond Halo and Wedge: visualizing out-of-view objects on head-mounted virtual and augmented reality devices. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '18)*, September 03, 2018. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–11.
<https://doi.org/10.1145/3229434.3229438>
 - [17] Uwe Gruenefeld, Tim Claudius Stratmann, Abdallah El Ali, Susanne Boll, and Wilko Heuten. 2018. RadialLight: exploring radial peripheral LEDs for directional cues in head-mounted displays. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '18)*, September 03, 2018. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–6.
<https://doi.org/10.1145/3229434.3229437>
 - [18] Uwe Gruenefeld, Tim Claudius Stratmann, Lars Prädel, and Wilko Heuten. 2018. Monocular: a radial light display to point towards out-of-view objects on augmented reality devices. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct (MobileHCI '18)*, September 03, 2018.

- Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 16–22.
<https://doi.org/10.1145/3236112.3236115>
- [19] Sean Gustafson, Patrick Baudisch, Carl Gutwin, and Pourang Irani. 2008. Wedge: clutter-free visualization of off-screen locations. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08)*, April 06, 2008. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 787–796. <https://doi.org/10.1145/1357054.1357179>
 - [20] Martin Hachet, Fabrice Decle, Sebastian Knödel, and Pascal Guitton. 2009. Navidget for 3D interaction: Camera positioning and further uses. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 67, 3 (March 2009), 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.09.013>
 - [21] Sandra G. Hart. 2006. Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.* 50, 9 (October 2006), 904–908.
<https://doi.org/10.1177/154193120605000909>
 - [22] Juan David Hincapié-Ramos, Xiang Guo, Paymahn Moghadasian, and Pourang Irani. 2014. Consumed endurance: a metric to quantify arm fatigue of mid-air interactions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14)*, April 26, 2014. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1063–1072.
<https://doi.org/10.1145/2556288.2557130>
 - [23] Yen-Ming Huang, Tzu-Wei Mi, and Liwei Chan. 2025. Preview Teleport: An Occlusion-Free Point-and-Teleport Technique Enhanced with an Augmented Preview. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 31, 5 (May 2025), 2546–2556. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2025.3549138>
 - [24] Daisuke Iwai and Kosuke Sato. 2011. Document search support by making physical documents transparent in projection-based mixed reality. *Virtual Real.* 15, 2 (June 2011), 147–160. <https://doi.org/10.1007/s10055-010-0159-5>
 - [25] Hyungeun Jo, Sungjae Hwang, Hyunwoo Park, and Jung-hee Ryu. 2011. Aroundplot: Focus+context interface for off-screen objects in 3D environments. *Comput. Graph.* 35, 4 (August 2011), 841–853. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2011.04.005>
 - [26] Regis Kopper, Felipe Bacim, and Doug A. Bowman. 2011. Rapid and accurate 3D selection by progressive refinement. In *2011 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, March 2011. 67–74. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2011.5759219>
 - [27] JangHyeon Lee and Lawrence H. Kim. 2025. DiminishAR: Diminishing Visual Distractions via Holographic AR Displays. In *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 26, 2025. ACM, Yokohama Japan, 1–16.
<https://doi.org/10.1145/3706598.3713415>
 - [28] Nianlong Li, Zhengquan Zhang, Can Liu, Zengyao Yang, Yinan Fu, Feng Tian, Teng Han, and Mingming Fan. 2021. vMirror: Enhancing the Interaction with Occluded or Distant Objects in VR with Virtual Mirrors. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, May 06, 2021. ACM, Yokohama Japan, 1–11.
<https://doi.org/10.1145/3411764.3445537>
 - [29] Shuqi Liao, Yuqi Zhou, and Voicu Popescu. 2023. AR Interfaces for Disocclusion—A Comparative Study. In *2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, March 2023. 530–540. <https://doi.org/10.1109/VR55154.2023.00068>

- [30] Klemen Liliija, Henning Pohl, Sebastian Boring, and Kasper Hornbæk. 2019. Augmented Reality Views for Occluded Interaction. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19)*, May 02, 2019. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300676>
- [31] Jiazhou Liu, Barrett Ens, Arnaud Prouzeau, Jim Smiley, Isobel Kara Nixon, Sarah Goodwin, and Tim Dwyer. 2023. DataDancing: An Exploration of the Design Space For Visualisation View Management for 3D Surfaces and Spaces. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23)*, April 19, 2023. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–17. <https://doi.org/10.1145/3544548.3580827>
- [32] Paul Lubos, Gerd Bruder, Oscar Ariza, and Frank Steinicke. 2016. Ambiculus: LED-based low-resolution peripheral display extension for immersive head-mounted displays. In *Proceedings of the 2016 Virtual Reality International Conference (VRIC '16)*, March 23, 2016. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–4. <https://doi.org/10.1145/2927929.2927939>
- [33] Mykola Maslych, Yahya Hmaiti, Ryan Ghamandi, Paige Leber, Ravi Kiran Kattoju, Jacob Belga, and Joseph J. LaViola. 2023. Toward Intuitive Acquisition of Occluded VR Objects Through an Interactive Disocclusion Mini-map. In *2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, March 2023. 460–470. <https://doi.org/10.1109/VR55154.2023.00061>
- [34] M.J. McGuffin, L. Tancau, and R. Balakrishnan. 2003. Using deformations for browsing volumetric data. In *IEEE Visualization, 2003. VIS 2003.*, October 2003. 401–408. <https://doi.org/10.1109/VISUAL.2003.1250400>
- [35] Daniel Mendes, Daniel Medeiros, Eduardo Cordeiro, Maurício Sousa, Alfredo Ferreira, and Joaquim Jorge. 2017. PRECIOUS! Out-of-reach selection using iterative refinement in VR. In *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, March 2017. 237–238. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2017.7893359>
- [36] Shohei Mori, Sei Ikeda, and Hideo Saito. 2017. A survey of diminished reality: Techniques for visually concealing, eliminating, and seeing through real objects. *IPSJ Trans. Comput. Vis. Appl.* 9, 1 (June 2017), 17. <https://doi.org/10.1186/s41074-017-0028-1>
- [37] Marc Nienhaus and Jürgen Döllner. 2004. Blueprints – Illustrating Architecture and Technical Parts using Hardware- Accelerated Non-Photorealistic Rendering. (2004).
- [38] Patrick Perea, Denis Morand, and Laurence Nigay. 2019. Spotlight on Off-Screen Points of Interest in Handheld Augmented Reality: Halo-based techniques. In *Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '19)*, November 10, 2019. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 43–54. <https://doi.org/10.1145/3343055.3359719>
- [39] Gary Perelman, Emmanuel Dubois, Alice Probst, and Marcos Serrano. 2022. Visual Transitions around Tabletops in Mixed Reality: Study on a Visual Acquisition Task between Vertical Virtual Displays and Horizontal Tabletops. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.* 6, ISS (November 2022), 585:660-585:679. <https://doi.org/10.1145/3567738>

- [40] Gary Perelman, Marcos Serrano, and Emmanuel Dubois. 2024. Exploiting Physical Referent Features as Input for Multidimensional Data Selection in Augmented Reality. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* (February 2024). <https://doi.org/10.1145/3648613>
- [41] Anne Roudaut, Stéphane Huot, and Eric Lecolinet. 2008. TapTap and MagStick: improving one-handed target acquisition on small touch-screens. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces - AVI '08*, 2008. ACM Press, Napoli, Italy, 146. <https://doi.org/10.1145/1385569.1385594>
- [42] Kadek Ananta Satriadi, Andrew Cunningham, Ross T. Smith, Tim Dwyer, Adam Drogemuller, and Bruce H. Thomas. 2023. ProxSituating Visualization: An Extended Model of Situated Visualization using Proxies for Physical Referents. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 19, 2023. ACM, Hamburg Germany, 1–20. <https://doi.org/10.1145/3544548.3580952>
- [43] Henry Sonnet, Sheelagh Carpendale, and Thomas Strothotte. 2004. Integrating expanding annotations with a 3D explosion probe. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '04)*, May 25, 2004. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 63–70. <https://doi.org/10.1145/989863.989871>
- [44] Richard Stoakley, Matthew J. Conway, and Randy Pausch. 1995. Virtual reality on a WIM: interactive worlds in miniature. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '95)*, May 01, 1995. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA, 265–272. <https://doi.org/10.1145/223904.223938>
- [45] Duotun Wang, Linjie Qiu, Boyu Li, Qianxi Liu, Xiaoying Wei, Jianhao Chen, Zeyu Wang, and Mingming Fan. 2025. FocalSelect: Improving Occluded Objects Acquisition with Heuristic Selection and Disambiguation in Virtual Reality. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 31, 5 (May 2025), 3285–3295. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2025.3549554>
- [46] Lili Wang, Jianjun Chen, Qixiang Ma, and Voicu Popescu. 2021. Disocclusion Headlight for Selection Assistance in VR. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, March 2021. 216–225. <https://doi.org/10.1109/VR50410.2021.00043>
- [47] Rene Weller, Waldemar Wegele, Christoph Schröder, and Gabriel Zachmann. 2021. LenSelect: Object Selection in Virtual Environments by Dynamic Object Scaling. *Front. Virtual Real.* 2, (June 2021). <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.684677>
- [48] Wesley Willett, Yvonne Jansen, and Pierre Dragicevic. 2017. Embedded Data Representations. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 23, 1 (January 2017), 461–470. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2598608>
- [49] Meng-Lin Wu and Voicu Popescu. 2018. Efficient VR and AR Navigation Through Multiperspective Occlusion Management. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 24, 12 (December 2018), 3069–3080. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2778249>
- [50] Difeng Yu, Qiushi Zhou, Joshua Newn, Tilman Dingler, Eduardo Velloso, and Jorge Goncalves. 2020. Fully-Occluded Target Selection in Virtual Reality. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 26, 12 (December 2020), 3402–3413. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3023606>

ANNEXE

Temps de réalisation total

Temps de réalisation total

		$\chi^2(2) = 2.17$	$p = 0.338$	ns
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon
BalloonProbeAR	10.69	[10.17, 11.29]		
AlphaCursorAR	12.11	[11.40, 13.01]		
vMirrorAR	12.55	[11.84, 13.44]		

Temps de réalisation total par Position de la cible

Mur Avant		$\chi^2(2) = 18.5$	$p = 9.61e-05$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	12.51	[11.67, 13.60]	AlphaCursorAR	$Z = 3.58, p < 0.001$	***
AlphaCursorAR	15.58	[14.31, 17.20]	vMirrorAR	$Z = 11.1, p < 0.0001$	****
vMirrorAR	8.12	[7.83, 8.45]	BalloonProbeAR	$Z = 8.59, p < 0.0001$	****
Mur Arrière		$\chi^2(2) = 18.2$	$p = 0.000114$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	8.86	[8.37, 9.41]	AlphaCursorAR	$Z = 0.0325, p = 1.00$	ns
AlphaCursorAR	8.65	[8.21, 9.15]	vMirrorAR	$Z = 12.2, p < 0.0001$	****
vMirrorAR	16.97	[15.78, 18.54]	BalloonProbeAR	$Z = 11.6, p < 0.0001$	****

Temps de réalisation total par Position de la cible et Distance à l'utilisateur

Mur Avant x Proche		$\chi^2(2) = 11.2$	$p = 0.00376$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	10.19	[9.38, 11.31]	AlphaCursorAR	$Z = 1.31, p = 0.57$	ns
AlphaCursorAR	11.27	[10.28, 12.54]	vMirrorAR	$Z = 6.87, p < 0.0001$	****
vMirrorAR	7.39	[7.07, 7.75]	BalloonProbeAR	$Z = 5.37, p < 0.0001$	****
Mur Arrière x Proche		$\chi^2(2) = 16.2$	$p = 0.000309$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	8.05	[7.48, 8.84]	AlphaCursorAR	$Z = 0.929, p = 1.00$	ns
AlphaCursorAR	7.25	[6.84, 7.70]	vMirrorAR	$Z = 9.46, p < 0.0001$	****

vMirrorAR	15	[13.63, 17.33]	BalloonProbeAR	Z = 8.3, p < 0.0001	****
Mur Avant x Lointaine		$\chi^2(2) = 18.5$	p = 9.61e-05		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	14.83	[13.35, 16.68]	AlphaCursorAR	Z = 3.49, p < 0.001	***
AlphaCursorAR	19.89	[17.75, 22.59]	vMirrorAR	Z = 8.77, p < 0.0001	****
vMirrorAR	8.86	[8.40, 9.35]	BalloonProbeAR	Z = 6.7, p < 0.0001	****
Mur Arrière x Lointaine		$\chi^2(2) = 18$	p = 0.000123		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	9.67	[8.99, 10.51]	AlphaCursorAR	Z = 0.838, p = 1.00	ns
AlphaCursorAR	10.05	[9.37, 10.88]	vMirrorAR	Z = 7.95, p < 0.0001	****
vMirrorAR	18.94	[17.18, 21.39]	BalloonProbeAR	Z = 8.18, p < 0.0001	****

Temps de réalisation total par technique

BalloonProbeAR		$\chi^2(1) = 12$	p = 0.000532		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	12.51	[11.67, 13.60]	Mur Arrière	Z = 7.8, p < 0.0001	****
Mur Arrière	8.86	[8.37, 9.41]	Mur Avant	Z = 7.8, p < 0.0001	****
AlphaCursorAR		$\chi^2(1) = 12$	p = 0.000532		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	15.58	[14.31, 17.20]	Mur Arrière	Z = 10.1, p < 0.0001	****
Mur Arrière	8.65	[8.21, 9.15]	Mur Avant	Z = 10.1, p < 0.0001	****
vMirrorAR		$\chi^2(1) = 12$	p = 0.000532		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	8.12	[7.83, 8.45]	Mur Arrière	Z = 13.3, p < 0.0001	****
Mur Arrière	16.97	[15.78, 18.54]	Mur Avant	Z = 13.3, p < 0.0001	****

Temps de réduction de l'occlusion

Temps de réduction de l'occlusion

		$\chi^2(2) = 2.67$	p = 0.264	ns	
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	7.28	[6.82, 7.90]			

AlphaCursorAR	8.56	[7.96, 9.30]
vMirrorAR	6.99	[6.41, 7.76]

Temps de réduction de l'occultation par Position de la cible

Mur Avant		$\chi^2(2) = 18.5$	$p = 9.61e-05$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	9.02	[8.23, 10.14]	AlphaCursorAR	Z = 3.75, p < 0.001	***
AlphaCursorAR	11.36	[10.32, 12.70]	vMirrorAR	Z = 13.5, p < 0.0001	****
vMirrorAR	3.98	[3.76, 4.24]	BalloonProbeAR	Z = 12, p < 0.0001	****
Mur Arrière		$\chi^2(2) = 18.2$	$p = 0.000114$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	5.54	[5.20, 5.97]	AlphaCursorAR	Z = 1.18, p = 0.72	ns
AlphaCursorAR	5.76	[5.41, 6.18]	vMirrorAR	Z = 7.9, p < 0.0001	****
vMirrorAR	10	[8.99, 11.42]	BalloonProbeAR	Z = 8.45, p < 0.0001	****

Temps de réduction de l'occultation par Position de la cible et Distance à l'utilisateur

Mur Avant x Proche		$\chi^2(2) = 16.2$	$p = 0.000309$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	6.87	[6.29, 7.61]	AlphaCursorAR	Z = 2.08, p = 0.11	ns
AlphaCursorAR	8.2	[7.35, 9.34]	vMirrorAR	Z = 9.26, p < 0.0001	****
vMirrorAR	3.62	[3.35, 4.06]	BalloonProbeAR	Z = 8.3, p < 0.0001	****
Mur Arrière x Proche		$\chi^2(2) = 17.2$	$p = 0.000187$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	4.96	[4.55, 5.55]	AlphaCursorAR	Z = 0.337, p = 1.00	ns
AlphaCursorAR	4.68	[4.36, 5.07]	vMirrorAR	Z = 6.55, p < 0.0001	****
vMirrorAR	8.96	[7.70, 11.14]	BalloonProbeAR	Z = 5.95, p < 0.0001	****
Mur Avant x Lointaine		$\chi^2(2) = 18.5$	$p = 9.61e-05$		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	11.17	[9.77, 13.24]	AlphaCursorAR	Z = 2.95, p < 0.01	**
AlphaCursorAR	14.51	[12.74, 16.83]	vMirrorAR	Z = 9.84, p < 0.0001	****
vMirrorAR	4.35	[4.05, 4.69]	BalloonProbeAR	Z = 8.72, p < 0.0001	****
Mur Arrière x Lointaine		$\chi^2(2) = 16.2$	$p = 0.000309$		

Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	6.12	[5.62, 6.80]	AlphaCursorAR	Z = 1.89, p = 0.18	ns
AlphaCursorAR	6.84	[6.28, 7.54]	vMirrorAR	Z = 4.72, p < 0.0001	****
vMirrorAR	11.03	[9.58, 13.36]	BalloonProbeAR	Z = 6.01, p < 0.0001	****

Temps de réduction de l'occultation par technique

BalloonProbeAR		$\chi^2(1) = 12$	p = 0.000532		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	9.02	[8.23, 10.14]	Mur Arrière	Z = 8.44, p < 0.0001	****
Mur Arrière	5.54	[5.20, 5.97]	Mur Avant	Z = 8.44, p < 0.0001	****
AlphaCursorAR		$\chi^2(1) = 12$	p = 0.000532		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	11.36	[10.32, 12.70]	Mur Arrière	Z = 10.4, p < 0.0001	****
Mur Arrière	5.76	[5.41, 6.18]	Mur Avant	Z = 10.4, p < 0.0001	****
vMirrorAR		$\chi^2(1) = 12$	p = 0.000532		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	3.98	[3.76, 4.24]	Mur Arrière	Z = 12.9, p < 0.0001	****
Mur Arrière	10	[8.99, 11.42]	Mur Avant	Z = 12.9, p < 0.0001	****

Temps de Sélection de la cible

Temps de Sélection de la cible

		$\chi^2(2) = 18.2$	p = 0.000114		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	4.2	[3.90, 4.60]	AlphaCursorAR	Z = 0.384, p = 1.00	ns
AlphaCursorAR	4.54	[4.17, 5.07]	vMirrorAR	Z = 9.65, p < 0.0001	****
vMirrorAR	6.43	[6.00, 7.02]	BalloonProbeAR	Z = 11.6, p < 0.0001	****

Temps de Sélection de la cible par Position de la cible

Mur Avant		$\chi^2(2) = 4.5$	p = 0.105	ns	
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	4.47	[4.04, 5.15]			
AlphaCursorAR	5.65	[4.98, 6.66]			

vMirrorAR	4.3	[4.10, 4.53]			
Mur Arrière			$\chi^2(2) = 19.5$	$p = 5.83e-05$	
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	3.93	[3.59, 4.44]	AlphaCursorAR	$Z = 3.32, p < 0.005$	**
AlphaCursorAR	3.43	[3.14, 3.83]	vMirrorAR	$Z = 12.8, p < 0.0001$	****
vMirrorAR	8.56	[7.81, 9.66]	BalloonProbeAR	$Z = 11.7, p < 0.0001$	****

Temps de Sélection de la cible par Position de la cible et Distance à l'utilisateur

Mur Avant x Proche			$\chi^2(2) = 2.17$	$p = 0.338$	ns
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	3.58	[3.20, 4.20]			
AlphaCursorAR	4	[3.46, 5.10]			
vMirrorAR	4	[3.77, 4.26]			
Mur Arrière x Proche			$\chi^2(2) = 19.5$	$p = 5.83e-05$	
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	3.61	[3.17, 4.59]	AlphaCursorAR	$Z = 3.51, p < 0.001$	***
AlphaCursorAR	2.75	[2.52, 3.06]	vMirrorAR	$Z = 9.89, p < 0.0001$	****
vMirrorAR	7.35	[6.57, 8.61]	BalloonProbeAR	$Z = 8.34, p < 0.0001$	****
Mur Avant x Lointaine			$\chi^2(2) = 12.7$	$p = 0.00178$	
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	5.35	[4.62, 6.69]	AlphaCursorAR	$Z = 2.86, p < 0.05$	*
AlphaCursorAR	7.31	[6.19, 9.12]	vMirrorAR	$Z = 3.3, p < 0.005$	**
vMirrorAR	4.6	[4.28, 4.99]	BalloonProbeAR	$Z = 0.836, p = 1.00$	ns
Mur Arrière x Lointaine			$\chi^2(2) = 18.2$	$p = 0.000114$	
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	4.25	[3.79, 4.88]	AlphaCursorAR	$Z = 1.34, p = 0.54$	ns
AlphaCursorAR	4.11	[3.60, 4.83]	vMirrorAR	$Z = 8.4, p < 0.0001$	****
vMirrorAR	9.77	[8.63, 11.85]	BalloonProbeAR	$Z = 8.21, p < 0.0001$	****

Temps de Sélection de la cible par technique

BalloonProbeAR			$\chi^2(1) = 0.333$	$p = 0.564$	ns
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	

Mur Avant	4.47	[4.04, 5.15]			
Mur Arrière	3.93	[3.59, 4.44]			
AlphaCursorAR		$\chi^2(1) = 12$	p = 0.000532		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	5.65	[4.98, 6.66]	Lointaine	Z = 5.81, p < 0.0001	****
Mur Arrière	3.43	[3.14, 3.83]	Proche	Z = 5.81, p < 0.0001	****
vMirrorAR		$\chi^2(1) = 12$	p = 0.000532		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	4.3	[4.10, 4.53]	Lointaine	Z = 11.3, p < 0.0001	****
Mur Arrière	8.56	[7.81, 9.66]	Proche	Z = 11.3, p < 0.0001	****

Taux d'erreur

Taux d'erreur

	$\chi^2(2) = 14.1$		p = 0.000873		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	0.07	[0.05, 0.09]	AlphaCursorAR	Z = 4.55, p < 0.0001	****
AlphaCursorAR	0.15	[0.12, 0.18]	vMirrorAR	Z = 3.5, p < 0.001	***
vMirrorAR	0.23	[0.19, 0.26]	BalloonProbeAR	Z = 7.3, p < 0.0001	****

Taux d'erreur par Position de la cible

Mur Avant		$\chi^2(2) = 6.95$	p = 0.031		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	0.07	[0.05, 0.10]	AlphaCursorAR	Z = 3.5, p < 0.001	***
AlphaCursorAR	0.16	[0.12, 0.20]	vMirrorAR	Z = 0.378, p = 1.00	ns
vMirrorAR	0.15	[0.11, 0.19]	BalloonProbeAR	Z = 2.94, p < 0.01	**
Mur Arrière		$\chi^2(2) = 13.7$	p = 0.00107		
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	0.07	[0.04, 0.10]	AlphaCursorAR	Z = 2.94, p < 0.01	**
AlphaCursorAR	0.14	[0.10, 0.18]	vMirrorAR	Z = 4.82, p < 0.0001	****
vMirrorAR	0.3	[0.25, 0.35]	BalloonProbeAR	Z = 6.94, p < 0.0001	****

Taux d'erreur par Position de la cible et Distance à l'utilisateur

Mur Avant x Proche		$\chi^2(2) = 3.35$ p = 0.187		ns	
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	0.04	[0.01, 0.08]			
AlphaCursorAR	0.1	[0.05, 0.15]			
vMirrorAR	0.09	[0.05, 0.14]			
Mur Arrière x Proche		$\chi^2(2) = 7.41$ p = 0.0246			
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	0.06	[0.03, 0.10]	AlphaCursorAR	Z = 0.894, p = 1.00	ns
AlphaCursorAR	0.09	[0.04, 0.14]	vMirrorAR	Z = 3.57, p < 0.001	***
vMirrorAR	0.24	[0.17, 0.31]	BalloonProbeAR	Z = 4.11, p < 0.0005	***
Mur Avant x Lointaine		$\chi^2(2) = 6.82$ p = 0.033			
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	0.1	[0.06, 0.15]	AlphaCursorAR	Z = 2.96, p < 0.01	**
AlphaCursorAR	0.22	[0.15, 0.28]	vMirrorAR	Z = 0.316, p = 1.00	ns
vMirrorAR	0.21	[0.14, 0.27]	BalloonProbeAR	Z = 2.47, p < 0.05	*
Mur Arrière x Lointaine		$\chi^2(2) = 15.6$ p = 0.000412			
Technique	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
BalloonProbeAR	0.07	[0.03, 0.12]	AlphaCursorAR	Z = 3.05, p < 0.01	**
AlphaCursorAR	0.19	[0.12, 0.25]	vMirrorAR	Z = 3.31, p < 0.005	**
vMirrorAR	0.36	[0.28, 0.43]	BalloonProbeAR	Z = 5.61, p < 0.0001	****

Taux d'erreur par technique

BalloonProbeAR		$\chi^2(1) = 0.111$ p = 0.739		ns	
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	0.07	[0.05, 0.10]			
Mur Arrière	0.07	[0.04, 0.10]			
AlphaCursorAR		$\chi^2(1) = 0$ p = 1		ns	
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	0.16	[0.12, 0.20]			
Mur Arrière	0.14	[0.10, 0.18]			

vMirrorAR		$\chi^2(1) = 11$	p = 0.000911		
Position de la cible	Moyenne	IC	Comparé à	Wilcoxon	
Mur Avant	0.15	[0.11, 0.19]	Mur Arrière	Z = 4.54, p < 0.0001	****
Mur Arrière	0.3	[0.25, 0.35]	Mur Avant	Z = 4.54, p < 0.0001	****