



# Rapport de projet

## Simulateur de montage matériel en réalité augmentée

William ADAMS, Gabriel BREHAULT, Hugo COMOTH, Guillaume ROUSSEL

### Contextes et objectifs

Le but initial de notre projet était d'utiliser la réalité augmentée pour améliorer l'efficacité du montage d'une structure destinée à être montée une seule fois. Nous avons en tête l'exemple du montage de PC. Les besoins principaux pour un tel montage sont les suivants : à chaque étape, il faut trouver la bonne pièce, comprendre son orientation et son sens d'insertion dans la structure. Un besoin secondaire mais également important est que la construction doit être rapide, le temps passé doit servir à construire, pas à se demander comment construire.

Jusqu'à présent, la méthode employée pour cela est de regarder une vidéo explicative et de faire le montage en suivant les consignes au fur et à mesure.

Les points négatifs de cette méthode sont les suivants :

- on ne peut pas suivre les étapes en simultanément, puisque nous devons porter notre regard alternativement sur la vidéo et sur notre montage
- les pièces et leurs positionnements n'étant ni familiers ni intuitifs, les erreurs de placement ou d'orientation sont fréquentes.
- Cela conduit le monteur à visionner plusieurs fois la vidéo.

Notre projet a pour but de réduire le temps de montage d'une structure inconnue, et de réduire, voire éliminer, les erreurs de montage. Réduire le temps de montage signifierait que l'on réduit le temps nécessaire pour comprendre l'orientation, et le site d'insertion pour chaque pièce, et répond donc au besoin de base du problème.

### Solution envisagée

L'outil de montage que nous avons imaginé initialement était une application pour l'HoloLens. Cette application devait être capable de traquer une pièce à ajouter au montage en cours, de détecter l'emplacement où devait se placer cette pièce et l'indiquer à l'utilisateur. Dans le meilleur des cas, l'application aurait été capable de détecter lorsque des erreurs auraient été faites et l'indiquer à l'utilisateur. Une fois la pièce détectée par l'HoloLens, elle apparaît en surbrillance à travers le casque de l'utilisateur, ce qui permettrait de la trouver instantanément. Une fois prise en main, la pièce (en version holographique) apparaît à l'endroit indiqué par l'HoloLens, à l'endroit où elle devrait être placée, dans la bonne orientation. Une fois la pièce insérée, l'étape suivante est affichée, jusqu'à la fin du montage. Nous avons d'abord pour projet d'utiliser un vieux PC comme objet à monter.

## Problèmes rencontrés et solutions mises en place

Le premier problème technique rencontré était celui de la reconnaissance des pièces. On n'avait aucun moyen de reconnaître des pièces de PC. Nous avons donc remplacé l'ordinateur par une structure en Duplo, des briques de constructions pour enfants en bas âge. Pour que le montage ne soit pas trop facile, ce qui risquait de gommer toute différence potentielle entre notre nouvelle méthode et la méthode actuelle, nous avons conçu une structure qui semble construite de façon symétrique mais qui ne l'est pas [[Annexe 1](#)]. Cette structure se compose de 13 pièces, dont 6 paires de pièces identiques. Ainsi, des erreurs peuvent être commises pendant le montage, et le nombre d'erreurs en fonction des méthodes peuvent nous apporter des informations intéressantes. Et puisque nous n'avions, à notre connaissance, pas moyen de "scanner" une pièce pour la reproduire à l'identique dans Unity, nous avons recréé ces pièces manuellement sur Unity. L'objectif était de les créer à taille réelle afin de les superposer avec les Duplo.

Plus tard, nous nous sommes aperçus que la reconnaissance des pièces restait un problème. Nous avons d'abord imaginé coller sur les pièces des images utilisées par Vuforia, une bibliothèque de réalité augmentée qui permet de reconnaître des images imprimées. Le problème était double, premièrement le temps pour reconnaître une image peut être long ce qui est embêtant pour monter une structure efficacement, ensuite si on voulait mettre des images sur chaque pièce, pour les identifier individuellement comme prévu initialement, les images étaient trop petites pour être détectées correctement. Pour pallier ce problème, nous avons décidé d'abandonner l'idée de traquer chaque pièce et de se contenter de d'afficher les étapes une par une en laissant l'utilisateur passer d'une étape à l'autre librement. Nous avons tout de même gardé l'usage de Vuforia pour permettre un premier calibrage au moment de commencer le montage, pour s'assurer que le montage se fasse bien sur une table et à la distance souhaitée.

Un autre imprévu fût celui de l'occultation par les images dans le casque, que nous avons sous-estimé. Nous avons essayé différentes options (détaillées dans l'état des lieux), mais nous avons fini par décider que la superposition des pièces en réalité augmentée sur les pièces réelles n'était pas la meilleure idée. Mais il n'a pas été difficile de contourner ce problème, puisqu'il est tout à fait possible de construire la structure à côté du modèle 3D.

## État des lieux du travail réalisé

L'état final de notre solution technique est une application développée sous Unity pour HoloLens 2. Notre application peut être séparée en deux parties : les éléments d'interactions (boutons) et l'hologramme de construction. [[Annexe 2](#)]  
L'hologramme de construction est constitué de plusieurs briques de Duplo, les briques apparaissent peu à peu au cours du montage. Les briques appartiennent soit à la prochaine étape de construction, auquel cas elles sont animées pour descendre à leur emplacement dans la structure, soit à une étape précédente, et restent statiques à leur emplacement final dans la structure. À chaque nouvelle étape, deux briques apparaissent et restent animées jusqu'à ce que l'utilisateur décide de passer à l'étape suivante.

La navigation entre les étapes se fait grâce à deux boutons visibles à côté de l'hologramme de construction, le bouton de gauche (Previous Step) sert à reculer d'une étape, et celui de droite (Next Step), à avancer. Ainsi, un utilisateur peut facilement revenir aux étapes précédentes s'il est allé trop vite ou a fait une erreur.

Il existe deux boutons supplémentaires, le premier sert à alterner entre une vision opaque et transparente des briques, et le deuxième à alterner entre montrer les briques de toutes les étapes précédentes, montrer les briques de l'étape précédente, ou ne montrer que les briques de l'étape actuelle. Dans les trois cas, les briques de l'étape actuelle sont montrées.

Ces deux boutons ont servi à décider de la manière d'utilisation la plus simple de l'application. En ne montrant que les briques transparentes ou que les briques des étapes récentes, on peut placer le montage réel dans l'hologramme, et on voit se placer les briques holographiques de l'étape actuelle sur la construction réelle. Nous avons trouvé ces méthodes peu précises, et nous avons donc décidé de faire le montage réel en parallèle du montage holographique, plutôt que sur lui.

L'application détecte de plus l'emplacement choisi par l'utilisateur pour faire le montage grâce à la reconnaissance d'une image imprimée préalablement. L'utilisateur place la feuille imprimée à l'endroit où il désire faire le montage, puis, la cache et l'enlève. L'hologramme de construction restera à cet endroit tant que l'image ne réapparaît pas dans le champ de vision de l'HoloLens.

Avec le même système de détection et une autre image imprimée, l'utilisateur peut aussi faire apparaître un hologramme statique de la construction terminée, pour l'aider à visualiser le résultat attendu. Cette image n'a pas été donnée pendant les tests par peur que ce soit une distraction.

Les boutons ont tous été créés grâce à l'outil MRTK, et la reconnaissance des images a été faite avec la bibliothèque Vuforia.

L'application finale permet donc de construire une structure en parallèle d'une construction holographique, à une vitesse choisie par l'utilisateur, qui choisit quand changer d'étape.

## Évaluation de l'interaction créée

Pour tester notre interaction, nous avons commencé par créer une vidéo du montage. Nous demandions à quelqu'un de monter la structure de Duplo que nous avons conçue avec d'abord le casque HoloLens ou la vidéo le plus efficacement possible. La personne avait à disposition les 13 pièces de la structure. Puis, après un petit temps pour que la personne ne compte pas uniquement sur sa mémoire, elle construit la structure avec l'autre méthode. Pour chaque montage, nous avons chronométré le temps entre le début et le moment où la personne disait avoir fini. Puis, nous comptons les erreurs de montage. Une fois les deux méthodes employées, nous demandions à la personne quelle méthode était (pour elle) la plus facile. Lorsqu'une personne utilisait la vidéo, elle était libre de faire pause ou de reculer dans la vidéo à tout moment. Nous précisons à nouveau que lors des tests, le modèle statique du résultat final n'était pas présent, et que les personnes testées n'étaient pas censées appuyer sur les boutons modifiant la transparence ou le nombre d'étapes statiques affichées.

Nous avons pu conduire nos tests sur un ensemble de 9 personnes. Bien que nous soyons conscients que cela fait peu de résultats, nous sommes quand même

capables d'en sortir quelques observations. Tout d'abord une liste d'avantages et d'inconvénients du montage en s'aidant de la vidéo et en s'aidant de notre application de la réalité augmentée.

	La vidéo	L'HoloLens
Avantages	Prise en main rapide	Visualisation de la structure en 3D à tout moment
	Moins encombrant qu'un HoloLens	Possibilité de manipuler la structure pour la voir sous tous les angles
		Avancer à son rythme, par étape
		Remarquer rapidement les erreurs commises et les corriger précisément
Inconvénients	La notion de profondeur en 2D crée des incertitudes sur la pose des blocs et induit à des erreurs qui ne sont souvent détectées que beaucoup plus tard	Les testeurs n'étaient pas tous habitués à l'utilisation d'un HoloLens et pouvaient perdre du temps à le prendre en main, des appuis accidentels sur des boutons sont arrivés.
	Il faut régulièrement revenir en arrière sur la vidéo afin de pouvoir revoir une étape, ce qui induit une grosse perte de temps	Des bugs imprévus peuvent apparaître au cours de l'utilisation
		L'autonomie reste très faible et il faut recharger régulièrement la batterie pour pouvoir l'utiliser

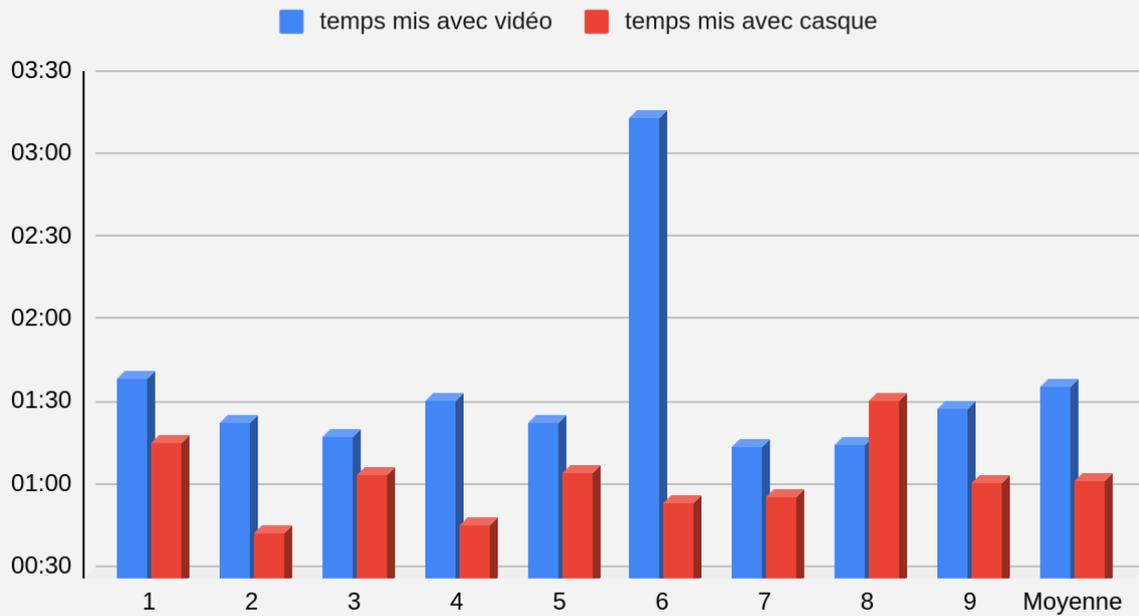
Ensuite, les mesures effectuées nous amènent à penser qu'effectivement notre méthode est plus efficace. En effet, le temps de montage est quasiment toujours plus court avec l'HoloLens, et la probabilité de faire une erreur semble bien plus basse qu'avec la vidéo.

De plus, nous avons remarqué que les personnes testées mettaient plus de temps à remarquer qu'elles avaient fait une erreur lorsqu'elles utilisaient la vidéo, ce qui induisait une perte de temps.

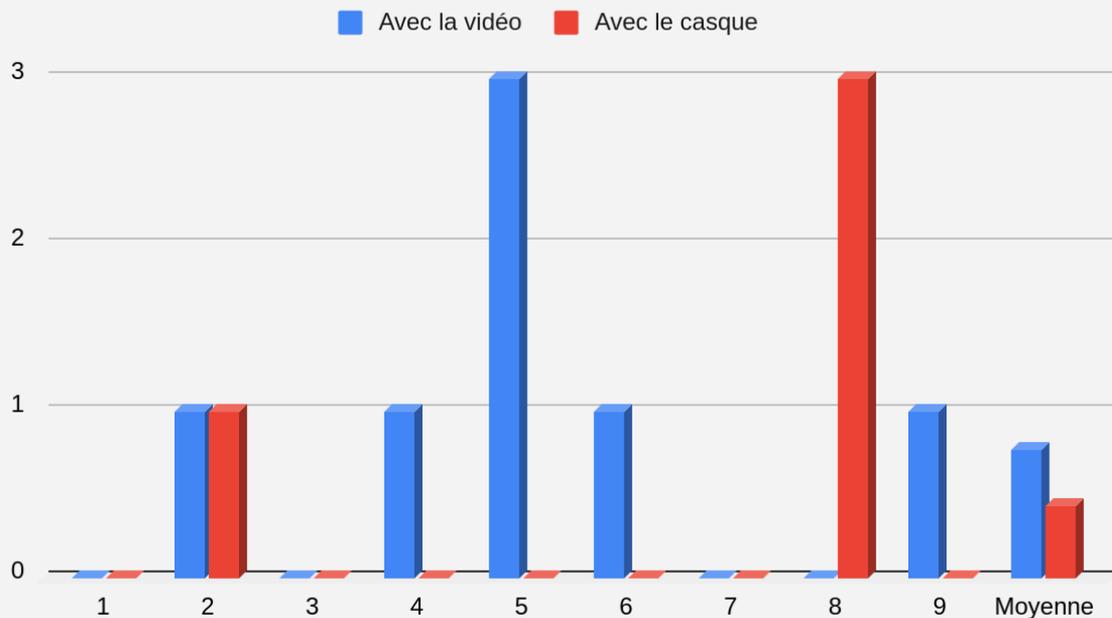
Aussi, toutes les personnes ont déclaré trouver la méthode de réalité augmentée plus facile que celle de la vidéo.

Enfin, nous avons noté que chaque fois qu'au moins une faute était produite avec la méthode de l'HoloLens, la personne avait commencé par cette méthode. Nous ne savons comment exploiter cette information, car nous avons eu trop peu d'occurrences.

## Comparatif des durées de construction sur 9 sujets test



## Nombre d'erreurs commises lors de la construction sur 9 sujets test



Il faut noter que lors de l'expérience numéro 8, la personne avait activé la transparence par inadvertance.

## Conclusion

Nous sommes fiers de l'application que nous avons réussi à créer. Bien que toutes nos attentes initiales n'aient pas pu être implémentées, le produit final apporte un véritable avantage aux solutions actuellement disponibles.

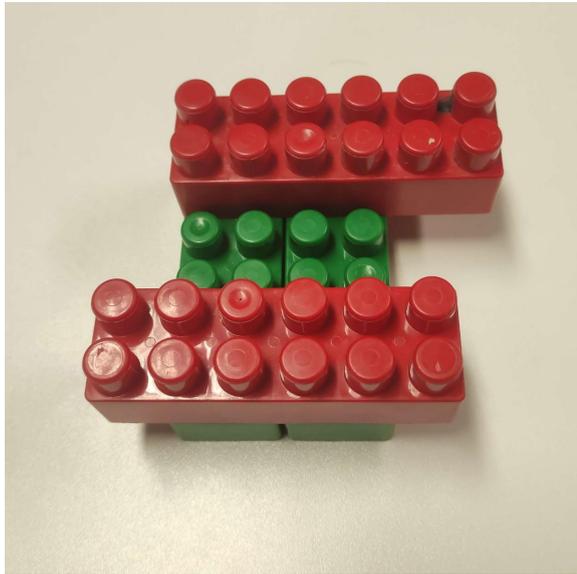
Parmi les avantages de l'utilisation d'une structure 3D holographique, ceux qui sont le plus ressortis sont :

- meilleure visualisation du modèle à construire
- plus de précision dans les mouvements effectués
- rester sûr de soi lors de la pose d'un bloc
- réaliser rapidement lorsqu'une erreur a été commise et de pouvoir la rectifier
- gagner du temps de construction
- Plus de satisfaction à construire la structure avec l'HoloLens par rapport au tuto vidéo

Au cours du projet, nous avons imaginé des pistes d'améliorations que nous aurions aimé implémenter avec plus de temps. Tout d'abord, le son est une notion que nous avons omise lors de notre projet. Il est cependant possible de rajouter du son sur l'HoloLens ainsi que sur la vidéo afin d'aider la compréhension des étapes de construction. Il pourrait être intéressant de rajouter cette fonctionnalité et de comparer à nouveau. La détection en temps réel serait également une grosse amélioration de notre projet. En ajoutant cette fonctionnalité, nous serions capables d'assister l'utilisateur dans la détection des erreurs et de le guider plus efficacement à chaque étape. Cela permettrait également de détecter lorsque la pièce est bien placée et passer directement à l'étape suivante en supprimant les boutons, ainsi que rendre la pièce posée transparente sur l'HoloLens.

# Annexe 1:

## Étapes de montage de la structure



Étapes 1 et 2



Étapes 3 et 4



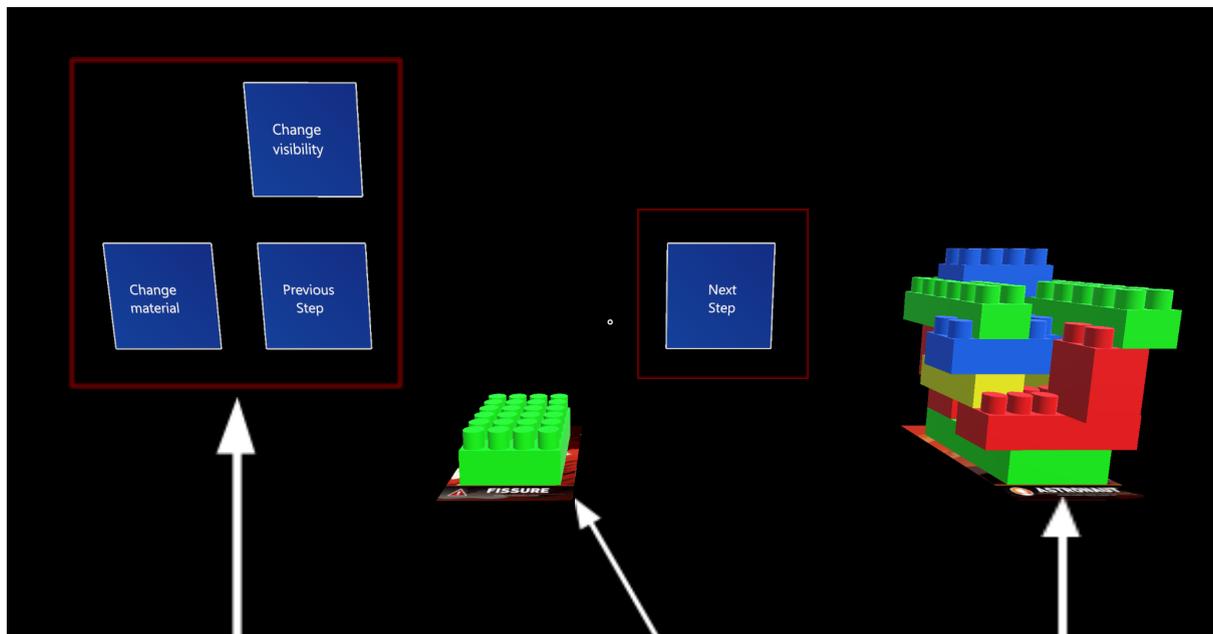
Étapes 5 et 6



Étapes 7 et 8

# Annexe 2:

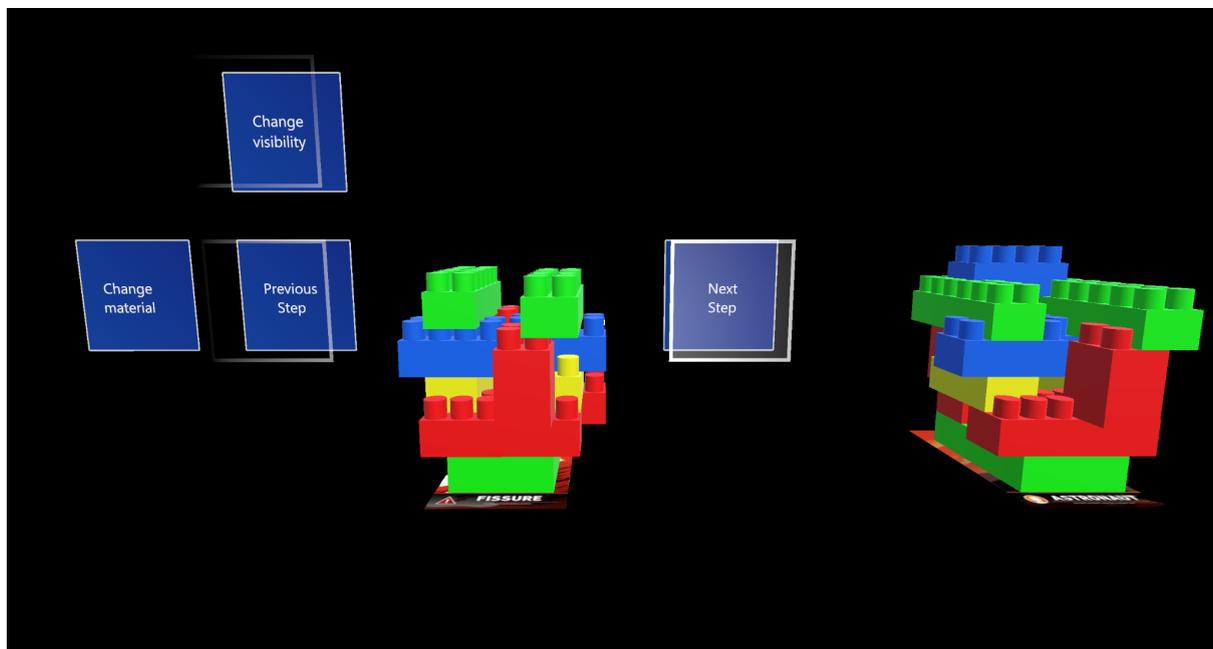
## Visuel de l'application implémentée sur Unity



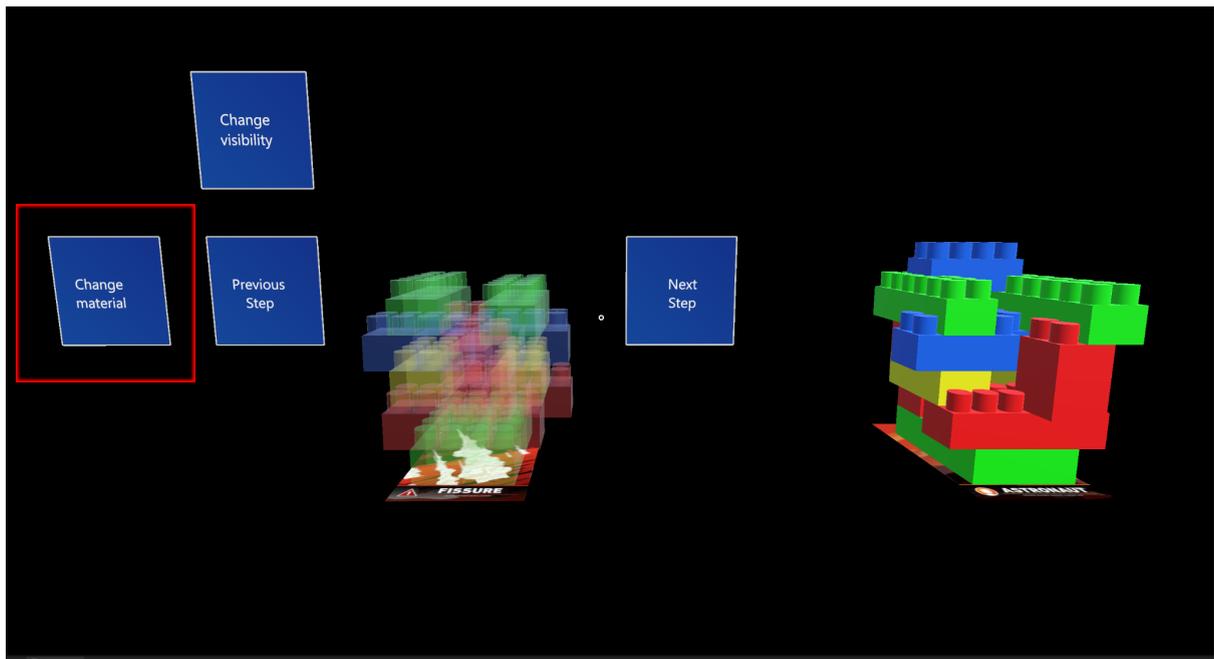
Boutons interactifs

Étape du montage

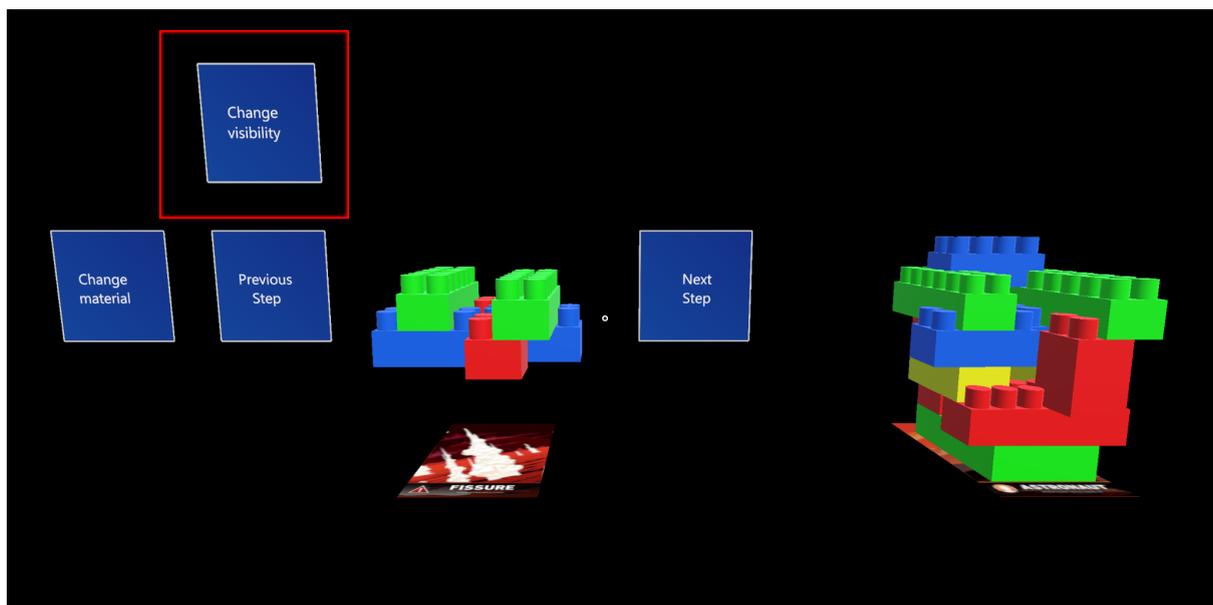
Modèle final



Etape de montage différente (après avoir appuyé plusieurs fois sur Next Step)



Changement de matériel (en transparent)



Changement de mode d'apparition des blocs posés  
(uniquement les blocs sur lesquels le bloc suivant doit être posé)