

Basculement de maquettes 3D TQC vers la réalité virtuelle. Création d'un démonstrateur de conception et de revue de projet pour l'industrie

■ Nicolas TADJIAN

Dans le secteur industriel, des maquettes 3D TQC ("Tel Que Construit") de bâtiments sont utilisées comme bases pour des projets d'aménagement d'installations générales. Lors des revues de projet, les industriels font face à un manque de lisibilité avec les plans 2D et les visualisations 3D. La réalité virtuelle, qui donne la possibilité de s'immerger dans un environnement 3D, peut aider à la compréhension des modèles et à la prise de décisions. L'objectif de cette étude, faite au sein de la société TPLM-3D, était donc de mettre en place un système permettant de réaliser des revues de projet industrielles en réalité virtuelle. Pour cela, l'application en cours de développement NucleusVR a été utilisée. Elle permet de réaliser des immersions en réalité virtuelle au sein de modèles 3D. Ainsi, la première partie du projet a consisté à participer au développement de NucleusVR afin d'ajouter des nouvelles fonctionnalités répondant aux besoins des industriels. La seconde partie avait pour but d'identifier les étapes de la chaîne de traitements permettant de basculer les maquettes 3D TQC dans l'application de réalité virtuelle. Enfin, le système mis en place a été utilisé en conditions réelles par un industriel afin de juger de son utilité pour les revues de projet.

■ MOTS-CLÉS

Maquette 3D TQC, réalité virtuelle, revue de projet, industrie, Unity

gement de leurs installations. La réalité virtuelle permettra ici d'avoir une meilleure visualisation 3D du projet, et ce pour toutes les personnes concernées. Les analyses seront alors plus pertinentes et les choix seront validés en toute conscience.

L'objectif du projet est alors de mettre en place un système permettant de réaliser, en réalité virtuelle, les tâches de conception et de revue de projet en industrie. Ce système aura la forme d'un démonstrateur, c'est-à-dire que l'objectif est de montrer ce qu'il est possible de faire sans pour autant fournir un produit dont le développement est terminé. Le démonstrateur utilisera une application de réalité virtuelle en cours de développement : *NucleusVR*. Les principales étapes du projet sont les suivantes :

- analyser l'intégration des maquettes 3D TQC en réalité virtuelle ;
- développer *NucleusVR* pour la réalisation des tâches de conception et de revue de projet ;
- réaliser une étude de cas sur l'intégration d'un modèle 3D particulier dans l'application.

Quelques notions préliminaires

■ Le matériel

La Réalité Virtuelle (VR) est une technologie qui permet à un ou plusieurs utilisateurs de s'immerger et d'évoluer dans un environnement 3D interactif. Elle utilise le suivi des mouvements de l'utilisateur ainsi que ses actions afin de mettre à jour, en temps réel, sa perception de la scène. Une immersion en réalité virtuelle peut être réalisée sur

un manque de lisibilité quant à la visualisation 3D. En effet, les opérateurs et les techniciens travaillant sur site ne sont pas toujours habitués à interpréter les éléments d'un plan. Ainsi, certains choix sont validés sans avoir pleinement conscience de la réalité.

Pour TPLM-3D, la volonté d'intégrer la réalité virtuelle dans leurs activités s'est concrétisée lorsqu'ils rencontrèrent les dirigeants de la start-up *NucleusVR*. Leur produit en cours de développement est une application de réalité virtuelle permettant de visualiser des modèles 3D extérieurs. L'idée de basculer des maquettes vers la réalité virtuelle a ensuite été proposée à l'industriel CONDAT, client de TPLM-3D. Ces derniers y ont vu un intérêt concernant les tâches de conception et de revue de maquette pour leurs projets d'aména-

Contexte de l'étude

TPLM-3D est spécialisée dans les travaux de mesures 3D par lasergrammétrie en produisant notamment des modèles 3D "Tel Que Construit". Un des domaines où intervient la société est l'industrie. En effet, ce type de clientèle sollicite souvent l'entreprise pour la production de modèles 3D TQC de leurs installations. Les clients industriels utilisent ensuite ces maquettes comme base de travail pour l'implémentation de nouveaux projets. Une étape clef de validation lors des phases d'avant-projet est la revue de maquette. L'intégration du projet dans l'existant est analysée par tous les intervenants de l'étude et des choix de réalisation doivent être arrêtés. Les revues de projet se font habituellement sur plans (numériques ou papiers) et il en ressort



Figure 1. Équipements du HTC Vive : le casque (gauche), les manettes (centre) et les stations de base (droite).

différents supports : un ordinateur, un casque de VR ou un système de projection (simple ou multi-écrans). Pour cette étude, le système casque a été privilégié pour deux raisons :

- il s'agit d'un système mobile, ce qui est une condition requise pour le démonstrateur ;
- c'est le système qui procure la meilleure qualité d'immersion.

Sur le marché actuel, deux modèles de casque se distinguent : l'*Oculus Rift* et l'*HTC Vive*. Ils ont chacun leurs spécificités et sont donc adaptés pour des utilisations différentes. Pour le démonstrateur, l'*HTC Vive* (figure 1) a été retenu grâce à deux caractéristiques que ne possède pas l'*Oculus Rift*. D'une part, sa profondeur (la distance entre les yeux de l'utilisateur et les lentilles du casque) est réglable. D'autre part, il peut être utilisé à l'échelle d'une pièce et non pas seulement de façon fixe, ce qui renforce la qualité de l'immersion. Le casque *HTC Vive* fonctionne en étant branché à un ordinateur. Le choix de ce dernier a été réalisé en fonction des spécifications minimales requises pour faire fonctionner le casque (notamment au niveau de la carte graphique, du processeur et de la mémoire vive). De plus, un ordinateur portable a été choisi afin de conserver le caractère mobile du système.

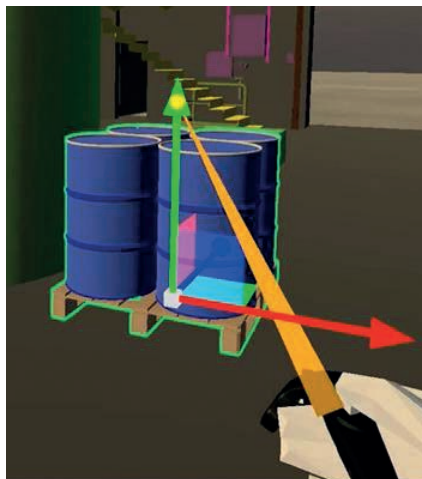


Figure 2. Translation manuelle d'un objet de bibliothèque

■ L'application NucleusVR

NucleusVR est une application de réalité virtuelle qui permet de naviguer librement au sein de modèles 3D. Elle se trouve sous la forme d'un fichier exécutable qu'il est possible de lancer sur n'importe quel ordinateur. Sa particularité est qu'elle met à disposition des utilisateurs une bibliothèque prédéfinie d'objets 3D qui peuvent être insérés librement dans la scène. Ces objets peuvent ensuite être édités grâce aux neuf degrés de liberté qui sont proposés à l'utilisateur : trois translations, trois rotations et trois facteurs d'échelle

(figure 2). Il est également possible d'insérer des fichiers multimédias (images, vidéos, textes, PDF) afin d'enrichir l'environnement d'informations complémentaires. Enfin, il est possible d'évoluer dans une scène en mode collaboratif, c'est-à-dire à plusieurs utilisateurs simultanément. L'application *NucleusVR* est développée avec le moteur de jeu *Unity*. Un moteur de jeu permet de construire un environnement virtuel qui reproduit les caractéristiques d'un monde réel. Des applications de réalité virtuelle peuvent donc être construites avec ce logiciel de développement. Dans *Unity*, la programmation est très présente puisque ce sont des scripts (langage C# ou JavaScript) qui gèrent les objets et qui définissent les règles de l'environnement. *Unity* permet également d'importer des modèles 3D aux formats suivants : FBX, OBJ, 3DS, DAE et SKP. Ainsi, *NucleusVR* est un ensemble de scripts de *Unity* qui définissent des fonctionnalités utilisables au sein de modèles 3D extérieurs importés dans l'application.

Développements de NucleusVR

La première partie de la mise en place du démonstrateur consiste à développer l'application *NucleusVR*, afin d'ajouter des fonctionnalités permettant de réaliser des tâches de conception et de revue de projet. Cette phase de développements a suivi l'organigramme présenté à la figure 3.

Dans un premier temps, une analyse des besoins a été effectuée, afin de recueillir à la fois les besoins de

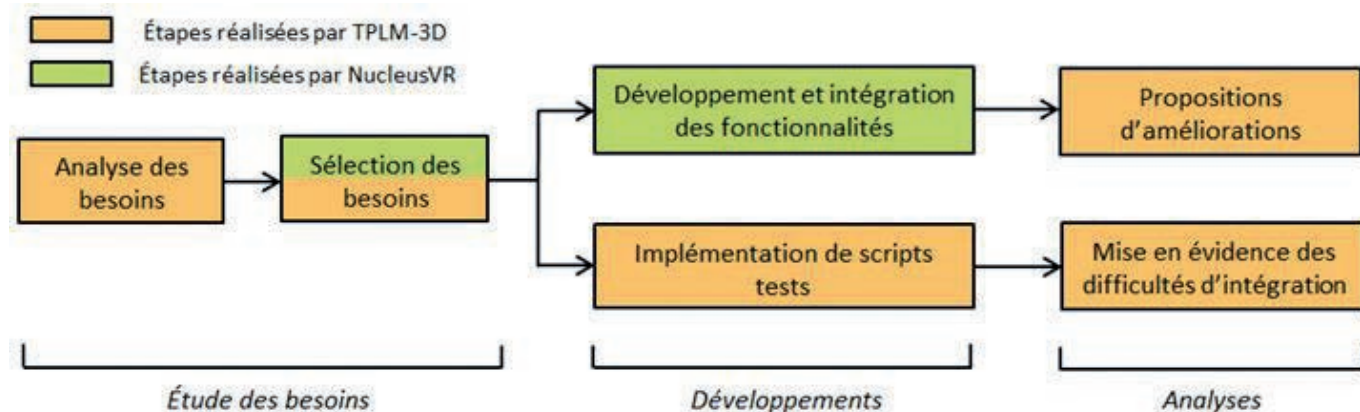


Figure 3. Organigramme de la phase de développements



Figure 4. Ruban virtuel pour la mesure de distances



CONDAT et ceux de TPLM-3D. Parmi la trentaine de vœux qui ont été obtenus, une dizaine ont été sélectionnés, afin d'être étudiés plus en profondeur au cours du projet. Cette sélection a été faite par TPLM-3D et par les développeurs de *NucleusVR* en prenant en compte l'importance des besoins et la complexité d'implémentation des fonctionnalités pouvant y répondre. Ensuite, au sein des besoins sélectionnés, trois fonctionnalités ont été développées puis intégrées à l'application. Elles permettent :

- de réaliser des annotations 3D à main levée ;
- de mesurer des distances (figure 4) ;
- d'afficher les coordonnées d'un point donné.

Puis, pour les fonctionnalités qui n'ont pas été intégrées dans l'application, des scripts tests ont été élaborés dans *Unity* afin de voir quelles étaient leurs possibilités d'implémentation. Ces fonctionnalités concernaient les objets de bibliothèque et se rapportaient donc aux tâches de conception. Ainsi, trois besoins ont été étudiés dans ces conditions en utilisant des exemples d'objets de librairie. Le premier est relatif à la possibilité d'insérer des objets de bibliothèque paramétrables dans la scène. Cela peut permettre de choisir directement certaines dimensions de l'objet lors de son insertion. Le second outil donne la possibilité d'éditer des objets en saisissant des valeurs numériques. En effet, au lieu de déplacer manuellement et approximativement un objet, cette fonctionnalité permet à l'utilisateur de saisir directement la valeur de déplacement, afin que la manipulation soit plus précise. Quant à la troisième fonctionnalité, elle offre la possibilité

de simuler les positions successives d'un objet en mouvement. Cela est utile pour des problématiques d'encombrement, afin de vérifier par exemple qu'un engin peut circuler à un endroit donné du bâtiment entre les différentes installations.

Enfin, après les travaux de développements, des analyses ont été effectuées. Pour les fonctionnalités qui ont été intégrées à l'application, des améliorations ont été proposées, afin qu'elles soient plus complètes ou plus facilement utilisables pour l'utilisateur. Pour les besoins qui ont fait l'objet de l'implémentation de scripts tests, les difficultés de l'intégration des fonctionnalités correspondantes dans l'application ont été mises en évidence. Il s'agit principalement de la généralisation des scripts pour n'importe quel objet de bibliothèque.

Intégration des maquettes 3D dans *NucleusVR*

La seconde partie de la phase de mise en place du démonstrateur a consisté à étudier la chaîne d'intégration permettant de basculer les maquettes 3D TQC produites par TPLM-3D en réalité virtuelle dans *NucleusVR*. Cette chaîne de traitement, présentée à la figure 5, concerne les maquettes au format DWG.

En effet, il s'agit du principal format qu'utilise TPLM-3D pour ses clients industriels. La première étape de ce processus d'intégration consiste à convertir les maquettes au format FBX, format d'échange des logiciels d'Autodesk. Ce format correspond bien au DWG et est accepté par *Unity*. Cependant, avant la conversion, une étape de préparation du fichier de dessin est nécessaire. Elle permet d'adapter le modèle 3D aux exigences de *Unity* et de *NucleusVR*. Les tâches à réaliser concernent par exemple

l'origine du système de coordonnées, les calques du dessin ou encore les unités. Ensuite, une fois la préparation effectuée, le modèle est converti en FBX puis importé dans *Unity*. Les scripts qui composent l'application *NucleusVR* sont attachés à la maquette 3D, ce qui forme un projet dans *Unity*. L'ensemble est ensuite compilé, afin de générer le fichier exécutable *NucleusVR* qui permet de lancer une immersion en réalité virtuelle dans le modèle 3D en question. Enfin, des contrôles doivent être effectués sur le fichier exécutable avant sa livraison finale au client.

Étude de cas

Après avoir réalisé des travaux pour la mise en place du démonstrateur de réalité virtuelle, une étude de cas a été effectuée sur une maquette 3D en particulier. Elle avait deux objectifs principaux : d'une part, intégrer un modèle 3D de bâtiment dans *NucleusVR* en suivant la chaîne de traitements mise en place et d'autre part, réaliser une revue de maquette de ce bâtiment en conditions réelles avec le système mis en place. Le bâtiment utilisé pour cette étude de cas était une partie des ateliers de production de l'usine de CONDAT concernée par un projet en cours de réaménagement des installations. Ce bâtiment

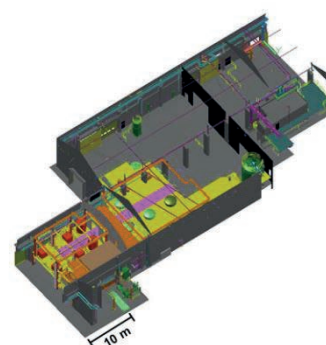


Figure 6. Vue de haut du modèle 3D utilisé

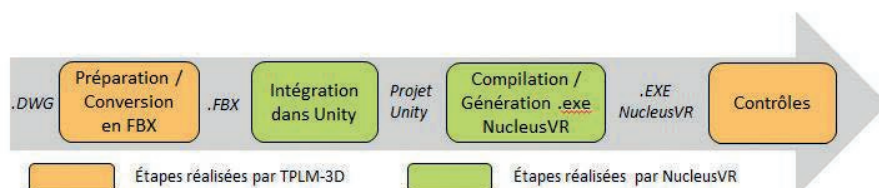


Figure 5. Organigramme de la chaîne de traitements pour l'intégration des maquettes 3D en réalité virtuelle



a donc été levé par lasergrammétrie puis modélisé en 3D par TPLM-3D (figure 6). La maquette contenait des éléments existants acquis durant le lever (murs, piliers, toit, etc.) ainsi que des éléments du projet (futures installations).

■ Intégration du modèle 3D en VR

L'intégration de la maquette 3D dans *NucleusVR* s'est faite selon la chaîne de traitements de la figure 5 (les étapes réalisées par les personnes de *NucleusVR* ne seront pas détaillées ici). Pour la première étape, la préparation de la maquette TQC se différencie de la préparation des objets de bibliothèque¹. Ensuite, pour l'étape de contrôles, deux vérifications principales doivent être effectuées. La première concerne les fonctionnalités de l'application. En effet, *NucleusVR* est toujours en cours de développement. Les scripts de l'application sont donc couramment modifiés par les développeurs et des dysfonctionnements peuvent apparaître entre deux versions consécutives. Ainsi, avant de livrer le fichier exécutable au client, il est nécessaire de vérifier que la navigation fonctionne et que les collisions avec les objets sont présentes, que l'insertion et l'édition des objets de bibliothèque se font bien et que toutes les commandes fonctionnent en mode collaboratif. Lors de cette étude de cas, certains degrés de liberté pour l'édition des objets ne se synchronisaient pas en mode collaboratif chez tous les utilisateurs. Les développeurs de l'application ont donc été informés du dysfonctionnement.

Le second contrôle consiste à vérifier la position et l'échelle de la maquette une fois intégrée en réalité virtuelle. En effet, au cours de la chaîne de traitements, le modèle 3D subit des imports, des exports et des conversions de format. Il est donc légitime de se demander si la maquette n'a pas été déformée et si elle est toujours à sa bonne position. La question de la position est importante dans le cas où il serait souhaité d'importer des maquettes adjacentes dans le même

environnement : leur position relative doit être la même dans le fichier de dessin 3D et en réalité virtuelle. Pour ces vérifications, des comparaisons ont été faites entre des données mesurées dans *NucleusVR* et des données supposées "vraies" mesurées dans Autocad. Pour le contrôle de la position, des points de référence ont été mesurés en coordonnées dans *NucleusVR* grâce à l'outil d'affichage des coordonnées développé. Pour le contrôle de l'échelle, des distances ont été mesurées entre ces mêmes points de référence grâce à l'outil de mesures de distances. Afin de pouvoir interpréter les écarts obtenus entre les mesures de *NucleusVR* et celles d'Autocad, une étude de précision a été réalisée sur les outils de mesure, afin de calculer des tolérances. Elle a été faite sur la base de la répétabilité des mesures. Une première étude a consisté à mesurer 35 fois un même point en coordonnées et une seconde à mesurer 40 fois une même distance. Pour chacun de ces deux échantillons de données, une précision, une exactitude et une tolérance ont été calculées. Ainsi, une même tolérance de 8 mm a été obtenue pour les deux outils de mesures. Enfin, après avoir effectué plusieurs mesures de contrôles (mesures des coordonnées des points de référence et des distances entre ces points), il s'est avéré que tous les écarts étaient inférieurs aux tolérances. Cela prouve que la maquette ne subit ni déformation ni changement de position au cours de la chaîne de traitements.

■ La revue de maquette

La revue de maquette s'est déroulée dans les locaux du partenaire CONDAT. Environ une quinzaine de personnes de fonctions diverses ont pu essayer l'application : des opérateurs travaillant dans les ateliers, des responsables de projet ou encore des responsables de sécurité. L'objectif était de les laisser évoluer librement dans la scène et de leur faire essayer les principales fonctionnalités, afin que des remarques émergent naturellement au cours de l'immersion. Ainsi, le premier enseignement à tirer est que la prise en main du système

est aisée. En effet, les personnes arrivaient à se déplacer et à manipuler des objets au bout de quelques minutes. Ensuite, les utilisateurs ont confié que le principal avantage de la réalité virtuelle pour les revues de projet est la perception des volumes et des espaces. Ils faisaient facilement des remarques sur le manque d'espace à certains endroits ou au contraire sur la présence de grandes zones qui faciliteront la production. Plus généralement, la réalité virtuelle fait émerger des réflexions qui n'auraient pas lieu habituellement. Elles proviennent notamment des personnes qui n'arrivaient pas à interpréter le projet sur la base d'un plan 2D et qui sont maintenant capables d'apporter des remarques pertinentes. Toutefois, parmi les remarques positives évoquées, les utilisateurs ont pu pointer des limites. La principale d'entre elles concerne les sensations de mal-être qui peuvent survenir. Certaines personnes utilisant le casque pour la première fois ressentaient le besoin de marcher physiquement lorsqu'ils naviguaient dans l'application. D'autres ressentaient de légers déséquilibres, notamment en empruntant des escaliers.

Améliorations possibles

Grâce à l'étude de cas et aux différentes démonstrations effectuées au cours du projet, des améliorations du démonstrateur de réalité virtuelle ont pu être proposées en prenant en compte les remarques des utilisateurs. La première concerne l'aspect matériel et plus particulièrement le casque de réalité virtuelle. Il a été constaté que le système HTC Vive reste quelque peu encombrant. En effet, plusieurs prises électriques sont nécessaires pour les capteurs de mouvements et l'ordinateur, et le casque est relié à l'ordinateur par un fil. Cela perturbe l'utilisateur puisqu'il doit faire attention à ne pas se prendre les pieds dedans, ce qui peut le couper dans son immersion. Pour résoudre ces problèmes, une nouvelle génération de casques est en train de voir le jour. Premièrement, le *Lenovo Explorer Windows Mixed*

¹ Pour des raisons de confidentialité, les points de préparation ne sont pas détaillés dans cet article.





Reality est une nouveauté puisqu'il ne possède pas de capteur pour assurer le suivi du mouvement des équipements. Des caméras sont alors directement intégrées dans le casque pour la localisation des instruments. Deuxièmement, le *HTC Vive Pro* a l'avantage de ne pas être relié à l'ordinateur par un câble. Pour cela, un adaptateur sans fil est prévu pour transmettre les données grâce à la technologie *Intel WiGig*. Ainsi, seul un câble part du casque pour se connecter à une batterie (qui peut se mettre dans la poche).

Une autre amélioration concerne la méthode de modélisation, où des points peuvent être adaptés pour la réalité virtuelle. D'abord, il est important de considérer le problème du vide et de la hauteur. En effet, lors des démonstrations de l'application, la plupart des personnes avaient des sensations de vertige ou de déséquilibre en empruntant des escaliers ou en étant sur des plateformes en hauteur. Dans ces cas, aucune barrière ou garde-corps n'était modélisé pour séparer l'utilisateur du vide. Il est alors nécessaire d'inclure ce genre d'éléments aux modèles 3D, afin de minimiser les sensations de vertiges. Ensuite, la palette de couleurs utilisée peut aussi être revue sachant que le modèle 3D sera visualisé en réalité virtuelle. Dans les maquettes 3D utilisées au cours du projet, certains éléments avaient des couleurs vives afin de bien être différenciés des autres. Il s'est avéré qu'avec le casque de réalité virtuelle (où la vue de l'utilisateur est entièrement prise par le modèle 3D), ces couleurs peuvent s'avérer perturbantes. En effet, elles attirent le regard et sont très loin de la réelle apparence des objets. Il est donc préférable de ne pas utiliser de couleurs vives pour des maquettes 3D à intégrer en réalité virtuelle.

Conclusion

Ce projet a permis d'étudier en détail l'intégration de maquettes 3D TQC en réalité virtuelle via une application existante : *NucleusVR*. Tout d'abord, trois nouvelles fonctionnalités ont pu être ajoutées à l'application afin de



Figure 7. Utilisateur en immersion

faciliter les tâches de revue de projet industrielle. Des scripts concernant d'autres fonctionnalités ont également été implémentés et ont permis de mettre en évidence des difficultés pour leur intégration à l'application. Ensuite, une chaîne de traitements permettant d'intégrer des maquettes 3D dans *NucleusVR* a pu être élaborée et des procédures ont été mises en place pour TPLM-3D. Enfin, grâce à l'étude de cas, des avis positifs ont été émis sur l'utilité de la réalité virtuelle pour les revues de projet. Pour finir, cette problématique de visualisation de maquettes 3D en réalité virtuelle ouvre la question du couplage de la réalité virtuelle avec la technologie BIM (*Building Information Modeling*). En effet, certains logiciels de BIM (comme *Autodesk Revit*) proposent des immersions en réalité virtuelle au sein de la géométrie 3D des bâtiments. Cependant, il n'est pas possible de visualiser en VR toutes les données qui gravitent autour d'un projet BIM (données sur les composants des bâtiments). Ainsi, une avancée serait d'avoir directement accès en réalité virtuelle à toutes ces informations, mais aussi de mettre à jour un projet BIM directement au cours d'une immersion (figure 7). ●

NDLR : Cet article a été soumis dans le cadre du prix de l'AFT 2018.

Contact

Nicolas TADJIAN
ntadjian@opsia.fr

Bibliographie

- Abidi, M. and Toscano, R. (2013). *Apport de la réalité virtuelle pour la simulation des processus industriels*. Pages 1-8.
- Anthes, C. and Garcia-Hernandez, R. J. (2016). *State of the Art of Virtual Reality Technology*. In 2016 IEEE Aerospace Conference, page 19, Montana, United States.
- Avellar, R. F. and Santo, A. C. (2017). *Use of Virtual Reality for the development of a Nuclear Waste Repository for Training*. In International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2017, pages 1-10, Belo Horizonte, Brazil.
- Habgood, M. P. (2018). *Rapid, continuous movement between nodes as an accessible virtual reality locomotion technique*. In 2018 IEEE Virtual Reality (VR), pages 1-9.
- Hilfert, T. (2016). *Low-cost virtual reality environment for engineering and construction*. Visualization in Engineering, pages 1-18.
- Lindskog, E. (2013). *Visualization support for virtual redesign of manufacturing systems*. In Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems, pages 419-424, Sweden. Elsevier B.V.

ABSTRACT

Key words: As-built 3D model, Virtual reality, Project review, Industry, Unity

In industrial field, industrialists face legibility lacks with 3D viewings during project reviews. Virtual reality, which allows immersing someone in a 3D environment, can help for model understanding and decision making. So, the research project goal, done within the TPLM-3D company, was to create a proof of concept to do industrial project reviews in virtual reality. For that, the under development application NucleusVR was used. It allows immersing users in virtual reality within 3D models. Thus, new functionalities were added to the application in order to satisfy industrial needs. Then, the processing chain steps to integrate as-built 3D models in virtual reality were identified. To finish, the system established was used in real conditions by an industrialist.