

THROUGH THE LOOKING GLASS

Immersive Multi-User Simulation For Architectural Conception

Virtual Reality, Game Mechanics, Sandbox, Immersive Simulation, Intuitive Design,
Intelligence Amplification, Collaborative Design & Conception, Spacialized Data,
Big Data

SOMMAIRE

Through The Looking Glass

| | |
|------------------------------------|----|
| I. Positionnement théorique..... | 4 |
| II. Projet..... | 18 |
| A. Présentation..... | 18 |
| B. Environnement géographique..... | 20 |
| C. Interface utilisateur..... | 22 |
| D. Système constructif..... | 24 |
| F. Coopération..... | 28 |
| G. Interopérabilité..... | 32 |
| III. Equipement..... | 34 |
| A. Configuration matérielle..... | 34 |
| B. Configuration logicielle..... | 36 |
| IV. Bibliographie sélective..... | 38 |

Oswald PFEIFFER
Mathieu VENOT

I. POSITIONNEMENT THEORIQUE

Notre recherche s'inscrit dans la continuité de celles menées depuis le début des années 60 sur les interfaces homme/machine immersives, elles mêmes issues de la cybernétique.

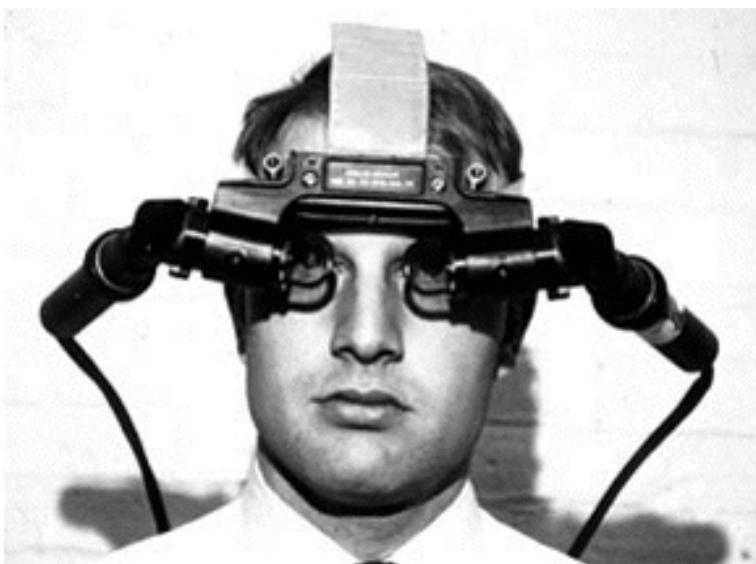
Depuis le premier prototype de visiocasque réalisé par Ivan Sutherland en 1968¹, de nombreux chercheurs à la fois du domaine public et privé tentent d'effacer au mieux la frontière conceptuelle qui existe entre l'espace physique et le Cyberespace² au moyen de dispositifs immersifs. Ce domaine de recherche est aujourd'hui plus connu sous le nom de Réalité Virtuelle³. Les dispositifs auxquels nous faisons référence permettent de reconfigurer les sens d'un sujet afin de plonger plus ou moins intensément son corps dans le Cyberespace, cet environnement d'informations pur, ce «pays des merveilles mathématique»⁴, où la perception humaine peut interagir avec une simulation numérique de façon naturelle et immersive. Longtemps restée inabordable et insatisfaisante, la réalité virtuelle est aujourd'hui en train de vivre un tournant majeur grâce à la convergence d'un

1 Incredible Helmet ou Sword of Damocles, construit au sein de l'Université d'Harvard puis de l'Université de l'Utah

2 Le terme Cyberespace a été introduit par William Gibson dans Neuromancer, cf GIBSON William, *Neuromancer*, New York, Ace, 1984

3 Le terme original Virtual Reality a été introduit par Jaron Lanier en 1989

4 SUTHERLAND Ivan, *The Ultimate Display*, Proceedings of the IFIP (International Information Security Conference) Congress, 1965



Ivan Sutherland - Incredible Helmet (1968)



Scott Fischer - VR research for NASA (1985)

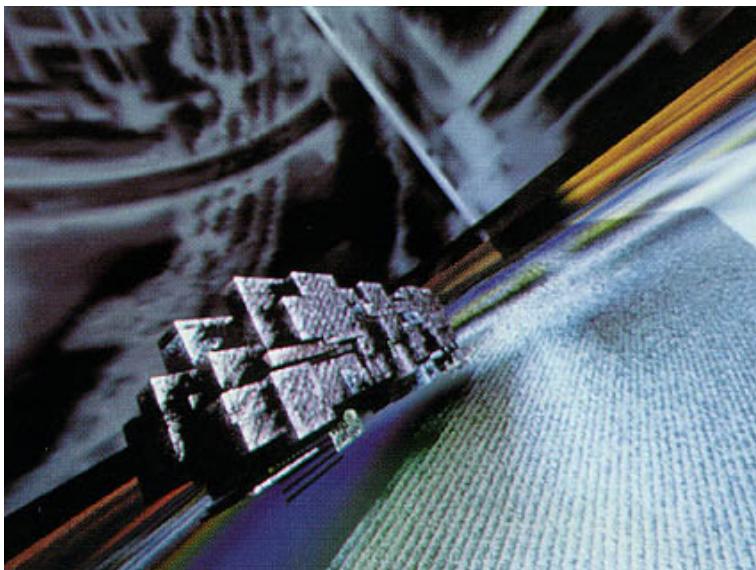
I. POSITIONNEMENT THEORIQUE

ensemble de facteurs technologiques et économiques comprenant entre autres l'accroissement exponentiel des capacités de calcul des ordinateurs.

Au début des années 90, l'accès aux premiers dispositifs efficents de réalité virtuelle a été rendu possible, créant une certaine effervescence autour de la question du Cyberespace. L'architecture se trouva très concernée par cet média, et plusieurs figures majeures commencèrent alors à s'y intéresser de près : citons Marcos Novak, qui théorisa alors les concepts d'*architecture liquide*, de *trans-architecture* et de *trans-architecte*⁵, Lars Spuybroek (NOX), qui explora l'*Hypersurface*, élément architectural intégrant des caractéristiques technologiques et interactives, ou encore Kas Oosterhuis, menant toujours aujourd'hui des recherches sur l'interaction, l'immersion et le design collaboratif au sein du studio Hyperbody de l'université de Delft.

Cependant, la technologie manquait à cet époque encore de maturité, et la réalité virtuelle fut rapidement oubliée par le public. Du côté de l'architecture, la recherche liée au numérique entreprit un tournant pouvant être qualifié de « structurel » : la production s'orienta alors vers la

5 « le cyberespace est architecture ; le cyberspace possède une architecture ; et le cyberspace contient de l'architecture.» NOVAK Marcos, *Liquid Architectures in Cyberspace*, in BENEDIKT Michael (dir.), *Cyberspace. First steps*, Cambridge, The MIT Press, 1992, p.226



Marcos Novak - Liquid Architecture in Cyberspace (1991)



Studio Hyperbody - Protospace

I. POSITIONNEMENT THEORIQUE

matérialité, les sciences de l'ingénieur, les méthodes de fabrication et la production d'architectures non standard. Il semble pourtant paradoxal de constater que le Cyberespace ait été déserté sous le motif qu'il n'était pas assez rattaché au réel puisque, finalement, beaucoup de projets de recherches centrés uniquement sur la matière l'idéalisent encore aujourd'hui au point de la traiter comme une finalité en soi. Peu importe si l'objet produit n'est pas fonctionnel ou viable vis-à-vis de l'industrie de la construction, sa seule réalisation serait censée lui donner une valeur. Et quelle serait alors cette valeur ? Celle d'une étape en plus dans une course à l'innovation ? Ce phénomène, sans doute lié à l'accélération des systèmes de communication et d'échange des savoirs, est particulièrement visible dans les milieux artistiques où l'on ne cherche plus forcément à produire une oeuvre proposant une véritable densité ou une grande qualité d'exécution mais plutôt à créer de l'originalité et de l'insolite. Il serait par ailleurs possible d'affirmer que le « réel » n'est pas plus appréhendable par la matière que par le virtuel. Nous pourrions même soutenir que l'effet est inverse puisque le virtuel est, d'un point de vue philosophique, à considérer comme un puissant moteur de réalités. Ce qui donnerait à une production un caractère « réel » serait alors plutôt sa capacité à prendre part au système complexe de relations caractérisant le savoir humain ? Kas Oosterhuis dit à ce propos dans une interview pour Game Set and Match : « Tel que je le



Achim Menges - Research Pavilion (2013)



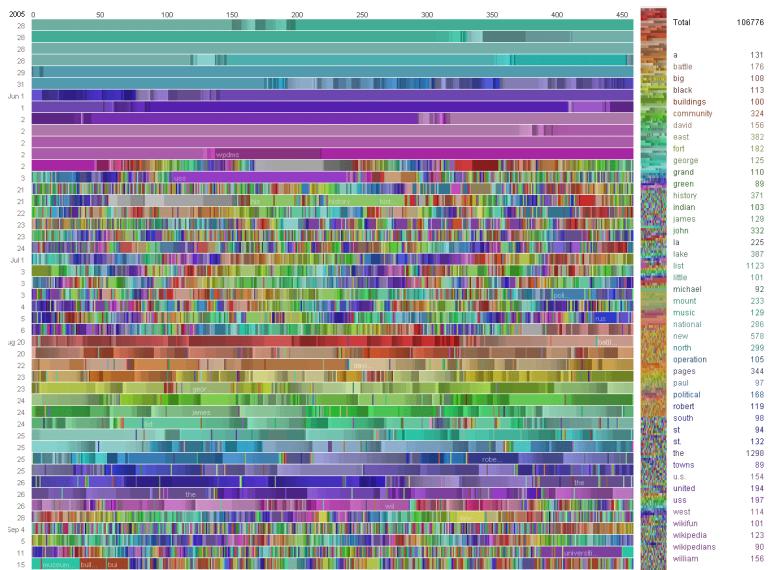
Plexe-e - Projet de Master à the Bartlett School of Architecture
(2015)

I. POSITIONNEMENT THEORIQUE

vois, la réalité virtuelle est plus réelle que ce que nous comprenons habituellement par réalité. Nous savons tout de la moindre particule de réalité virtuelle. Nous savons exactement comment le matériel électronique fonctionne et comment le logiciel traverse ses circuits. La réalité virtuelle est plus une sorte d'hypermérité, et dans notre travail, nous cherchons à faire collaborer la réalité et cette hypermérité en temps réel. »⁶. L'essence du Cyberespace ne serait donc pas moins réelle que la matière puisqu'elle possède un niveau d'abstraction supérieur qui la positionne directement au niveau de l'infosphère.

En dehors de ce débat épineux sur l'état de la recherche en architecture computationnelle aujourd'hui, nous constatons que le cyberespace n'a pas pour autant cessé de se propager dans l'ensemble des sphères de la société, en grande partie par le biais du développement exponentiel du web. Les technologies de réalité virtuelle/réalité augmentée étant aujourd'hui viables et sur le point d'envahir massivement nos quotidiens (il suffit de suivre l'actualité et d'observer les investissements économiques colossaux qui sont soulevés par ces technologies pour comprendre qu'un changement radical est en train de

6 OOSTERHUIS Kas, Yes we build spaceships, in HUBERS J.C., VAN VEEN Misja, KIEVID Chris (dir.), *Game Set and Match I. Proceedings of the conference GSM real-time interactive architecture*, Delft, Delft University of Technology Faculty of Architecture, 2001, p.9



Visualisation du Big Data de Wikipedia



Campagne publicitaire de Magic Leap, start-up financée par Google promettant de faire sortir internet des écrans

I. POSITIONNEMENT THEORIQUE

se mettre en place depuis 2012, date de lancement de l'*Oculus Rift*⁷), il est urgent de faire ré-émerger les questions soulevées il y a une vingtaine d'années à propos de la spatialité des espaces virtuels en considérant les nouveaux facteurs qui viennent nourrir ou modifier ces interrogations.

Malgré le potentiel considérable que possèdent les simulations immersives pour l'architecture (perception de l'espace à échelle 1/1, interaction directe, communication, éducation...), nous constatons que leur principal rôle se résume généralement à la visite virtuelle d'une modélisation 3D d'un bâtiment déjà conçu. Depuis le premier programme de ce type, le système WALKTHROUGH datant des années 80, jusqu'aux dernières solutions exposées à BATIMAT en 2015, il semblerait effectivement qu'aucune réflexion nouvelle sur cette technologie n'ait été formée.

Nous assistons pourtant avec l'émergence du web

⁷ En 2012 une campagne de financement participatif est lancée par Palmer Luckey, fondateur de la société Oculus, dans le but de récolter \$250.000 pour développer un casque de réalité virtuelle, le Rift. Oculus reçoit \$2.500.000 au bout d'un mois seulement, soit dix fois le montant attendu initialement. Quelques mois plus tard, Facebook rachète la société pour 2 milliards de dollars. 175 000 kits développeurs ont été vendu depuis. Le 8 janvier 2016, Oculus met en prévente une première version commerciale du casque en limitant la vente à un casque par acheteur, le stock est écoulé en 14 minutes.



Oculus Rift DK2 (2013)

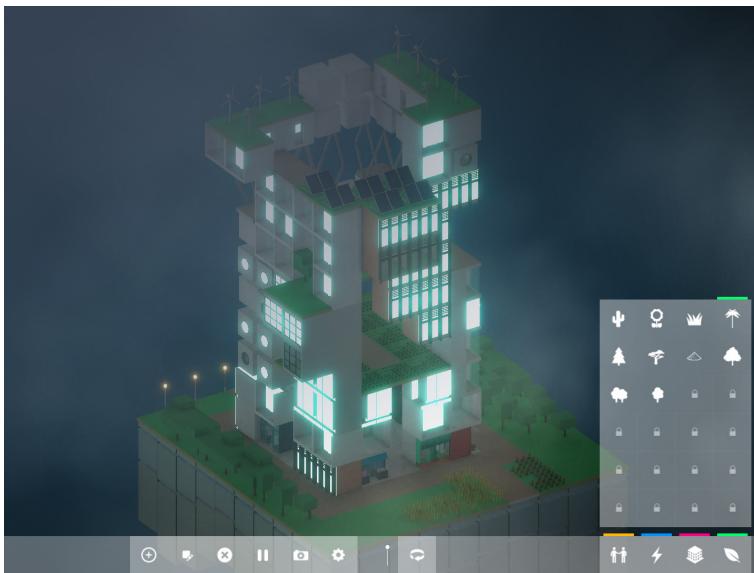


Visite Virtuelle - Batimat (2015)

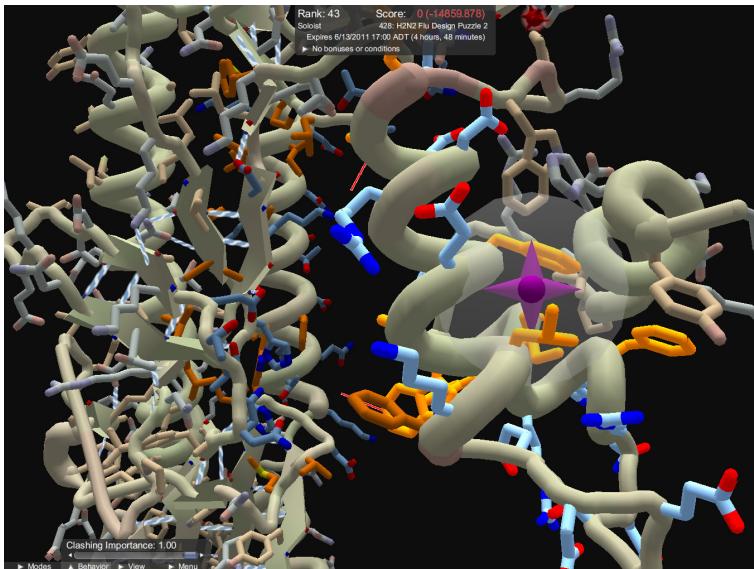
I. POSITIONNEMENT THEORIQUE

collaboratif à la concrétisation d'une certaine vision de l'intelligence collective qui a su être mise à profit notamment par le biais d'applications basées sur un ensemble de mécaniques issues du jeu vidéo, en particulier du serious game et sandbox game, où le but n'est plus de gagner mais de générer des interactions, encourageant la production de savoir ou la créativité. Kas Oosterhuis explore déjà la question du jeu dans son studio de recherche Hyperbody depuis plusieurs années, les travaux menés par Jose Sanchez au sein de Plethora Project vont également dans ce sens. Nous pensons qu'il serait aujourd'hui judicieux de coupler ce principe à celui de la simulation immersive afin de permettre à différents acteurs, architectes ou non, de concevoir collectivement des espaces en utilisant principalement leur intuition décisive, puisque l'architecture concerne avant tout la production d'espaces, et qu'un espace ne peut être apprécié qu'une fois que notre corps est capable d'en saisir toute la densité en y étant présent.

Parrallèlement, en prenant simplement en compte l'exemple des communautés en ligne, nous pouvons nous demander ce qu'il adviendra lorsque les échanges ne se feront plus à travers un simple écran mais dans un espace virtuel où le corps de l'utilisateur sera immergé. Pourquoi l'architecte ne serait pas celui à qui reviendrait la tâche de produire ces espaces virtuels



Jose Sanchez - Block Hood (2015)



Départements d'informatique et de biochimie de l'Université
de Washington- FoldIt (2008) "Solve Puzzles for Science"

I. POSITIONNEMENT THEORIQUE

aux contraintes différentes des espaces physiques qu'il produisait jusqu'alors ? Rappelons que ces espaces bien que d'une nature différentes sont tout aussi réels que les espaces physiques et soulèvent des enjeux sociaux et économiques tout aussi importants. Peut être est-ce l'occasion de retrouver une liberté de création qui se perd peu à peu avec le resserrement des normes et autres contraintes ultra restrictives auxquelles l'architecte est soumis, poussant progressivement son rôle de concepteur d'espace vers celui de dessinateur technique ou de «conseiller artistique».



Virtual Dream Center - Projet de musée virtuel (2016)



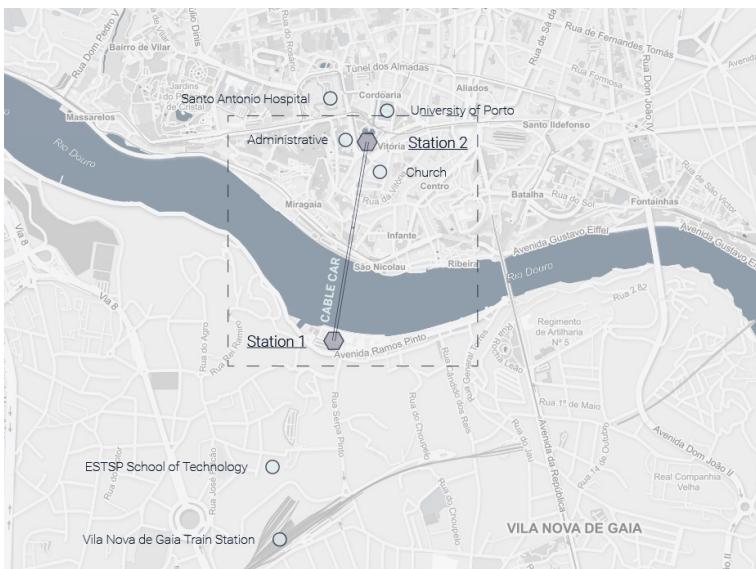
CONVRGE - "Hang out with friends in virtual reality" (2015)

II. PROJET

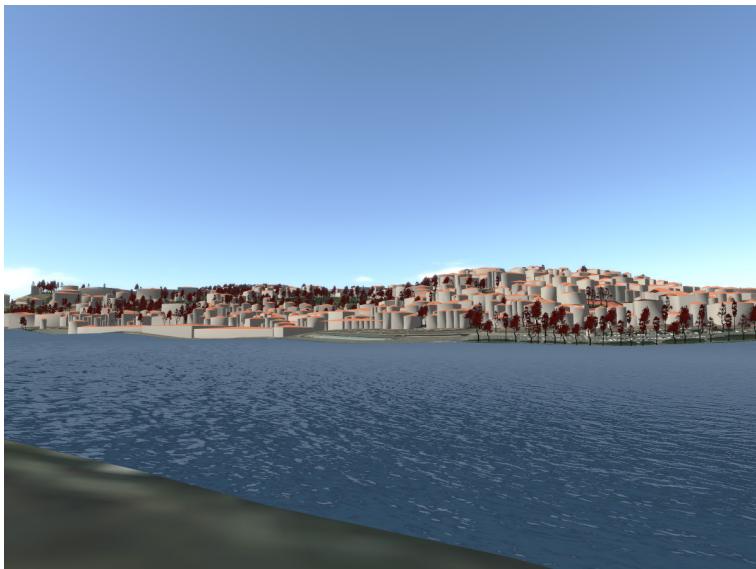
A. Présentation

L'objectif du projet est de recentrer la conception sur l'intuition décisive et l'appréhension directe de l'espace virtuel par le corps en créant une plate-forme de conception collaborative permettant à divers opérateurs de travailler sur des projets à échelle architecturale en immersion, faisant ainsi abstraction de la barrière se dressant traditionnellement entre l'espace de dessin et l'espace physique où se trouve l'architecte. Nous souhaitons garder à l'esprit que les enjeux globaux de la réalité virtuelle ont certainement évolué depuis les années quatre-vingt, et qu'il n'est plus tant question de mettre en place au niveau planétaire un cyberespace de type gibsonien que d'appliquer cette technologie à des domaines de recherche très concrets comme la médecine, l'industrie automobile ou la finance en considérant ses qualités proprioceptives.

Afin de prouver la validité du principe que nous avançons, notre travail s'appuiera sur un projet architectural concret qui consiste en la réalisation d'une gare de téléphérique urbain. Le site choisi est la ville de Porto, car elle est déjà familière avec ce type de transport. De plus, elle est traversée de part en part par le Douro et un large pan du fleuve ne dispose pas de franchissement aujourd'hui, rendant le passage d'une rive à l'autre difficile. Enfin, la topographie très abrupte du site incite à privilégier la mise en place d'un tel dispositif.



Cartographie du site servant de démonstrateur



Vue du projet - Porto, rive Nord

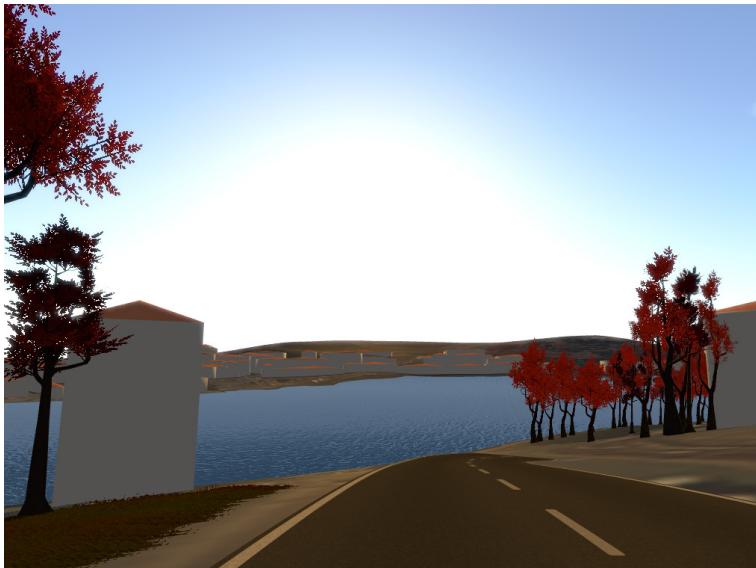
II. PROJET

B. Environnement Géographique

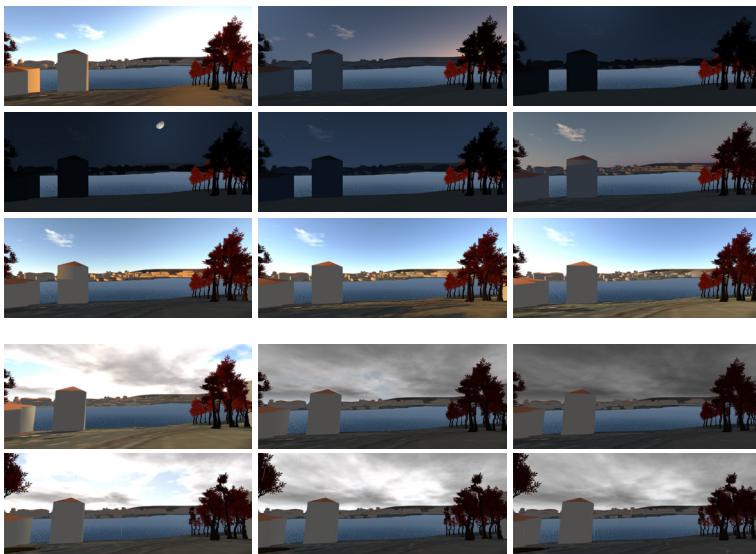
Puisque nous sommes dans une logique de simulation, il convient de modéliser l'environnement dans lequel la conception aura lieu, aussi finement que possible. Nous ne visons pas ici un réalisme simplement visuel, mais une cohérence au niveau des interactions, dynamismes et informations offertes par la simulation.

Plusieurs données sont extraites, telles que la topographie du site, les modélisations des bâtiments, l'implantation des routes, des espaces verts et plans d'eau. (Acquisition basée sur les données d'OpenStreetMap).

La gestion du dynamisme de la simulation entre également en compte, avec le contrôle des conditions environnementales. Aussi bien au niveau temporel (évolution du jour, donc des lumières, ombres, réflexions...), mais également les événements météorologiques (temps clair, nuageux, pluvieux, brumeux...).



Vue du projet - Porto sur la rive Nord



Intégration de la gestion du temps et de la météo

II. PROJET

C. Interface Utilisateur

L'interface utilisateur, que nous avons appelé le Navigateur, est l'élément central qui permet à l'opérateur d'accéder aux différentes fonctions offertes par le programme.

Cette interface comprendra les catégories suivantes :

- Génération de géométrie

(Le système constructif sera détaillé dans la section suivante)

- Edition d'une géométrie existante

(Idem)

- Propriétés/Outils

(Outils divers permettant de gérer les éléments géométriques et certaines préférences du logiciel)

- Modes de déplacement

(La gestion des déplacements est très importante en immersion car le confort de l'utilisation du logiciel en dépend grandement)

- Outils de visualisation

(Modification du temps et de l'heure, affichage ou non de certains éléments de l'environnement, tests physiques etc.)

- Options générales

(Sauvegarde/chargement d'un projet, gestion du réseau, export vers une autre application, etc.)

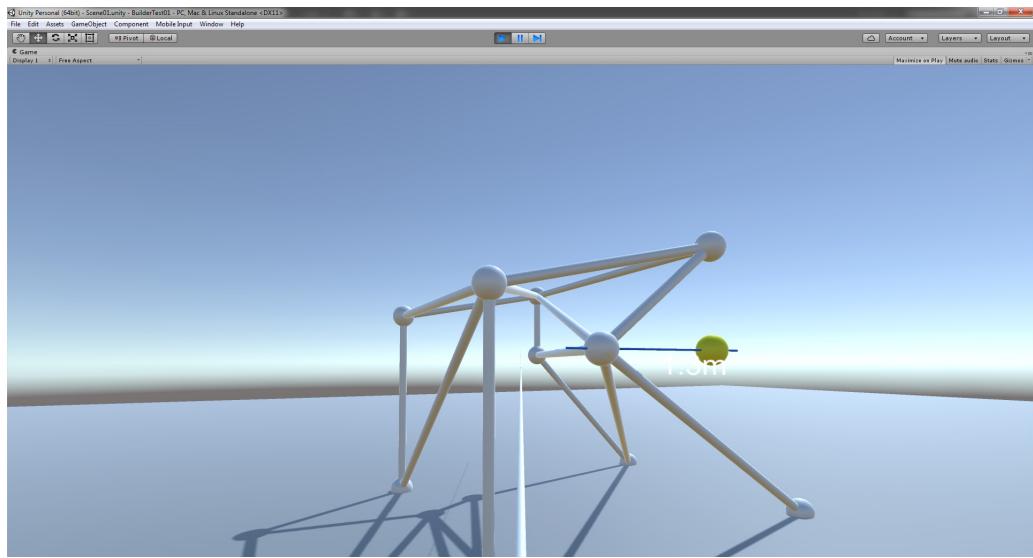
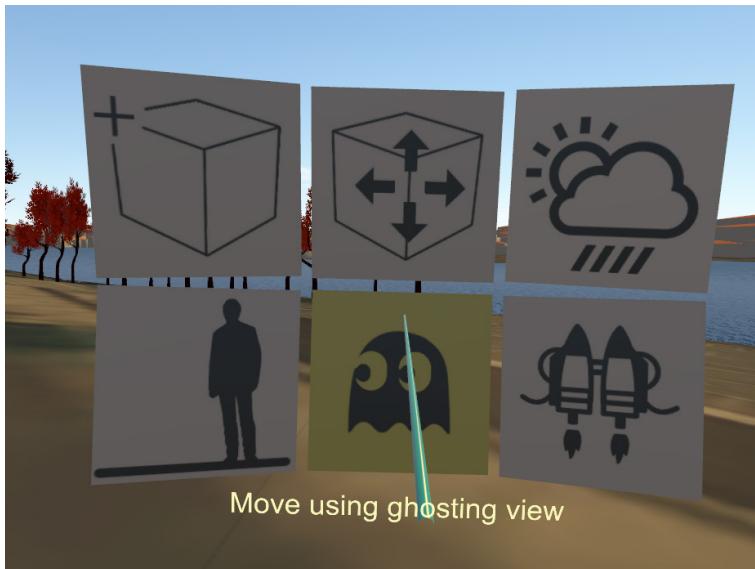


Schéma de l'interface utilisateur



Première implémentation de l'interface dans la simulation

II. PROJET

D. Système Constructif

Par rapport aux objectifs du projet, notamment le principe de coopération avec des personnes n'ayant éventuellement jamais utilisé de logiciel de 3D, nous avons défini les contraintes suivantes afin de déterminer les caractéristiques du système de construction géométrique :

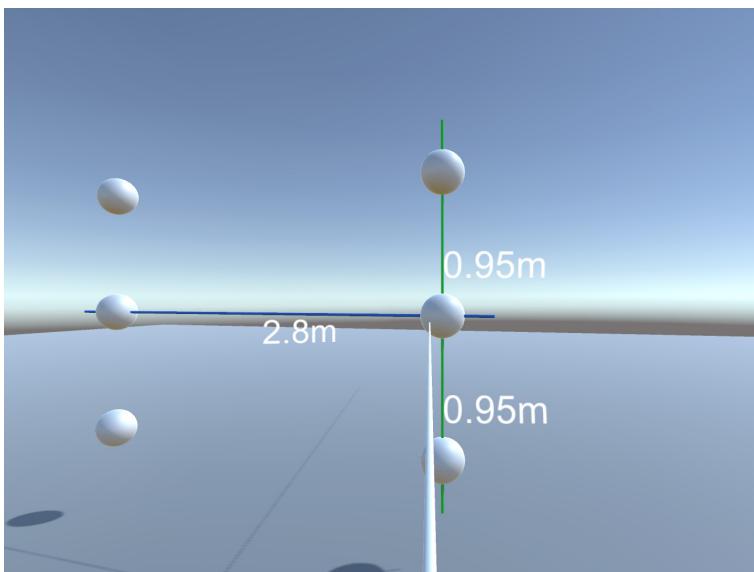
- Système simple mais devant permettre une très grande liberté de création (équivalent à des “règles du jeu”)
- Construction entièrement paramétrique
- Intégration de paramètres physiques (gravité) pour tester la staticité d'un système
- Géométrie propre pour simplifier l'interopérabilité, l'import/export et le post-traitement

En nous inspirant d'un jeu de construction bien connu, nous avons décidé d'adopter un système basé sur une logique de noeuds/barres/faces. Les noeuds, positionnés dans l'espaces à l'aide d'outils d'accrochage, permettent de définir des barres ainsi que des faces. Si un des noeuds est déplacé ou supprimé, les barres et les faces s'adaptent à ce changement.

Les noeuds sont donc à considérer comme des points de contrôle de la géométrie.



Jeu de construction Geomag, grande variété de constructions possibles mais n'utilisant qu'un nombre limité de primitives



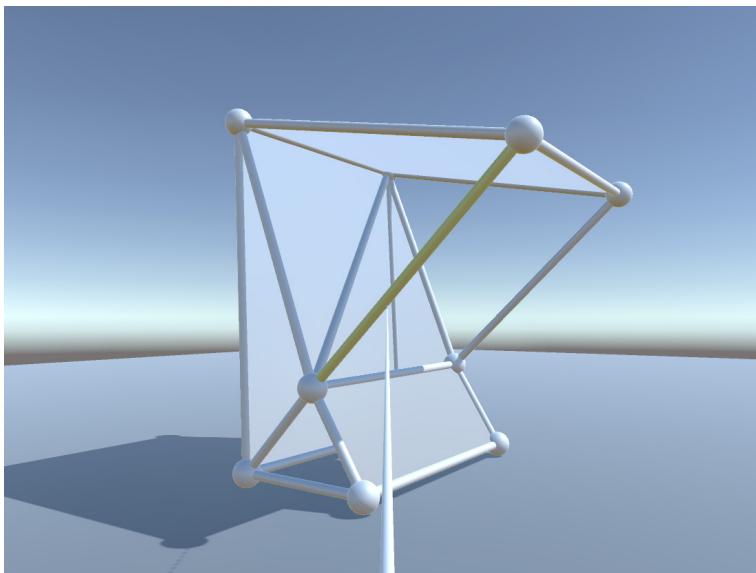
Positionnement des noeuds dans l'espace avec accrochage
(projection orthogonale et point milieu)

II. PROJET

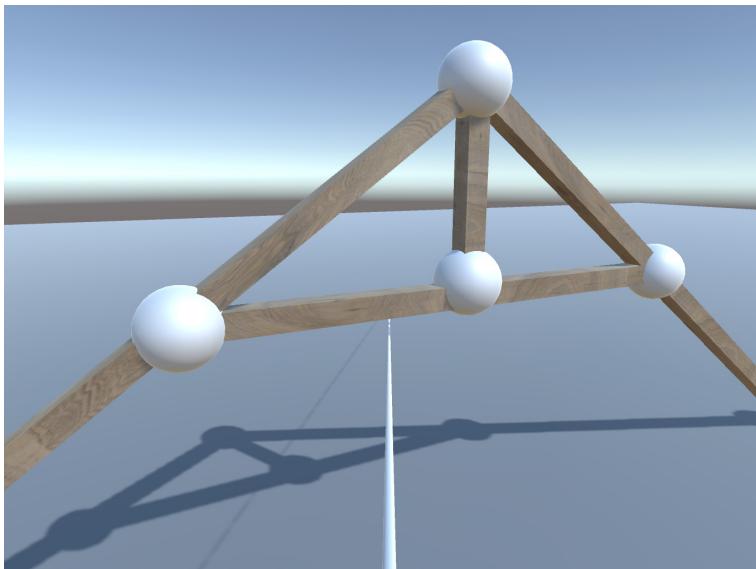
D. Système Constructif

Il est possible à tout moment d'activer la physique et d'observer le comportement de la structure sous l'action de la gravité, ce qui permet rapidement de savoir si la structure est correctement triangulée par exemple. Si la physique est désactivée, le modèle revient à sa position d'origine et devient à nouveau éditable.

Ce principe constitue le cœur du système constructif, il sera ensuite possible d'utiliser des éléments préconstruits afin de simplifier le dessin du modèle : murs, escaliers, etc. (eux même construits sur une base noeuds/barres/faces, afin de rester paramétrique, mais précontraints géométriquement). Il sera également possible de changer les paramètres d'affichages des éléments (une barre pourra avoir une section carrée et une texture bois par exemple, un mur pourra contenir un percement, etc).



Petite structure paramétrique en noeuds/barres/faces



Dessin d'une ferme en bois (l'affichage des barres à été remplacé par des barres à section carrée en bois)

II. PROJET

E. Coopération

Concevoir des espaces publics justifie en partie la dimension collaborative/participative du projet. Si bien que nous envisageons de proposer à un petit groupe de développeurs travaillant habituellement sur des applications de réalité virtuelle, et donc possesseurs de visiocasques, de définir avec nous, par le biais de notre logiciel, à travers des sessions de modélisation immersive en ligne, les espaces à traiter.

Le fait d'introduire des «non-sachants» (architecturalement parlant) dans le cycle de conception permettrait à la fois de prouver la prise en main rapide de notre logiciel, de montrer que l'immersion permet à tous d'appréhender l'espace de manière directe, et enfin de traiter le projet non plus comme une construction top-down mais comme le produit d'une réflexion collective touchant de multiples acteurs. Dans un sens nous pourrions comparer cette approche au design utilisant des systèmes d'agents pour générer des formes émergentes, à la différence que les agents ne sont ici pas des intelligences artificielles mais des intelligences humaines échangeant des informations par le réseau.

Kas Oosterhuis fait référence à ce type de procédé de conception passant par le jeu et la collaboration et le rapproche du concept de démocratie directe : « Finalement le concept de jeu interactif pour la production collaborative est un outil puissant pour la démocratie



Marc Fornes - “Labrys Frisae”
*Swarming architecture au sens littéral : la forme est définie
par des systèmes de particules*

II. PROJET

E. Coopération

directe. Nous nous connectons à présent directement aux gens pour qui et avec qui nous travaillons. Les participants ne sont pas seulement des experts dans ce procédé de démocratie directe, mais également nos clients, les citoyens, amis, utilisateurs accidentels, les passants. Tout le monde devient un joueur dans l'espace de transaction, que ce soit consciemment en tant que participant au processus de design, ou inconsciemment en tant que passager dont la présence importe pour le comportement en temps réel de l'espace de transaction.

»⁸. A ce titre, K. Oosterhuis utilise souvent le concept de swarming (essaim) pour désigner l'activité humaine et l'intelligence collective qui entoure la réalisation et l'utilisation d'un espace architectural. Contrairement aux simulations informatiques de swarming parfois utilisées en design et en architecture pour générer une forme à partir de particules en mouvement, il emploie donc ce terme dans un sens figuré, mais conserve son principe fondamental : l'innovation et la complexité peuvent se manifester en tant que phénomènes émergents reposant sur des comportements locaux et des règles simples.

⁸ OOSTERHUIS Kas, *Swarm Architecture*, in HUBERS J.C., VAN VEEN Misja, KIEVID Chris (dir.), *Game Set and Match I. Proceedings of the conference GSM real-time interactive architecture*, Op. Cit., p.19



Swarming architecture au sens figuré : la construction est définie par un ensemble d'utilisateurs dans une optique de “démocratie directe”, elle n'est pas fondée sur un formalisme

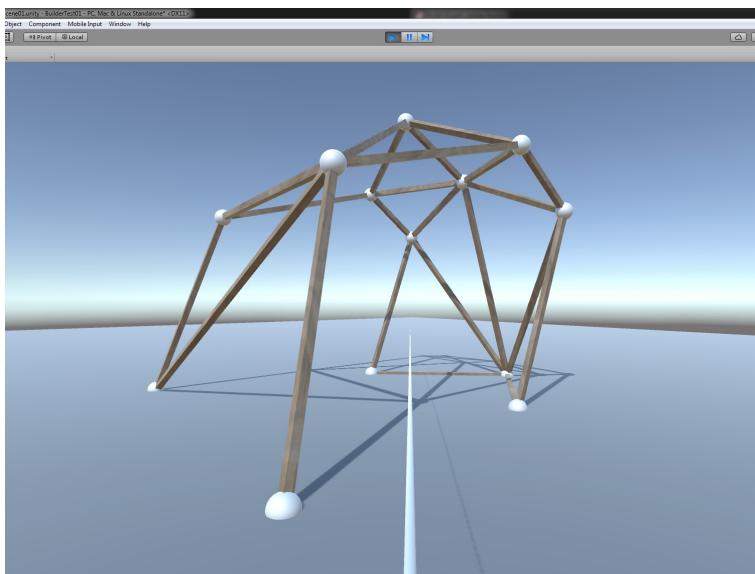
II. PROJET

F. Intéropérabilité

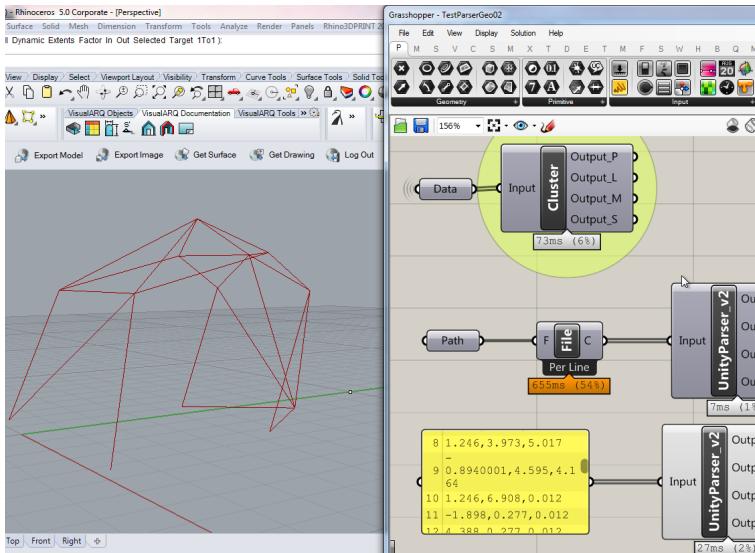
Afin de rendre notre système de construction efficace et encore plus avancé, nous envisagons le fait que les structures générées en immersion puissent être utilisables à d'autres niveaux. En particulier, en post-production afin de les retravailler ou faire des analyses plus spécifiques sur ces structures (apports lumineux, rationalisation, études de charges...).

Pour se faire, la géométrie construite dans le logiciel a la possibilité d'être exportée (en même que sauvegardée). Cet export, sous forme d'une simple liste de coordonnées, permet de récupérer les composantes principales de la structure telles que les nœuds, les barres et les parois. Nous utilisons à titre d'exemple Grasshopper et Rhinoceros 3D pour reconstruire la géométrie à partir de cette liste. Grasshopper étant très complet en matière d'outils d'analyse et de conception, nous avons mis en place un utilitaire automatisant le processus.

Cet intéropérabilité permet donc l'échange et la possibilité d'aller plus en avant dans la réalisation physique des structures dessinées en immersion. Un pont entre réalité virtuelle et réalité physique.



Modèle géométrique généré en VR avant export



Interopérabilité avec Grasshopper 3D après export

III. EQUIPEMENT

A. Configuration Matérielle

Puisque nous nous plaçons dans une position de développeurs pour des dispositifs qui ne sont pas encore entièrement au point, nous sommes en partie dépendants du développement et de la distribution des visiocasques que nous utilisons.

Actuellement, nous disposons de deux casques Oculus Rift (Kit Développeur 2), malheureusement retirés de la vente depuis octobre 2015. Nous attendons donc la possibilité d'acheter la version utilisateur du Rift qui devrait être disponible dans certains points de vente à partir d'Avril 2016 (le stock de préventes en ligne s'étant écoulé en moins d'un quart d'heure comme nous l'avons vu précédemment).

De façon complémentaire, nous nécessitons des ordinateurs dont la configuration doit pouvoir supporter l'exécution d'applications de réalité virtuelle très gourmandes en terme de puissance de calcul graphique. C'est pourquoi une demande d'achat de cartes graphiques performantes (configuration minimale conseillée par Oculus) a été transférée à l'école (Nvidia GTX970 - GTX980i).

Le développement d'interfaces de saisi pour la réalité virtuelle (déTECTEURS de mouvements et autres) en est encore à un stade expérimental, c'est pourquoi nous travaillons pour le moment avec de simples souris à trois boutons.

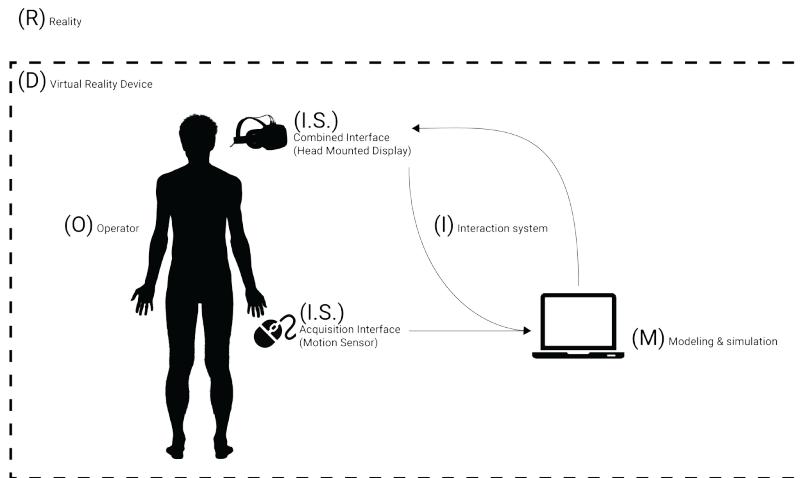


Schéma du dispositif matériel



Jury intermédiaire (04/12/2015)

III. EQUIPEMENT

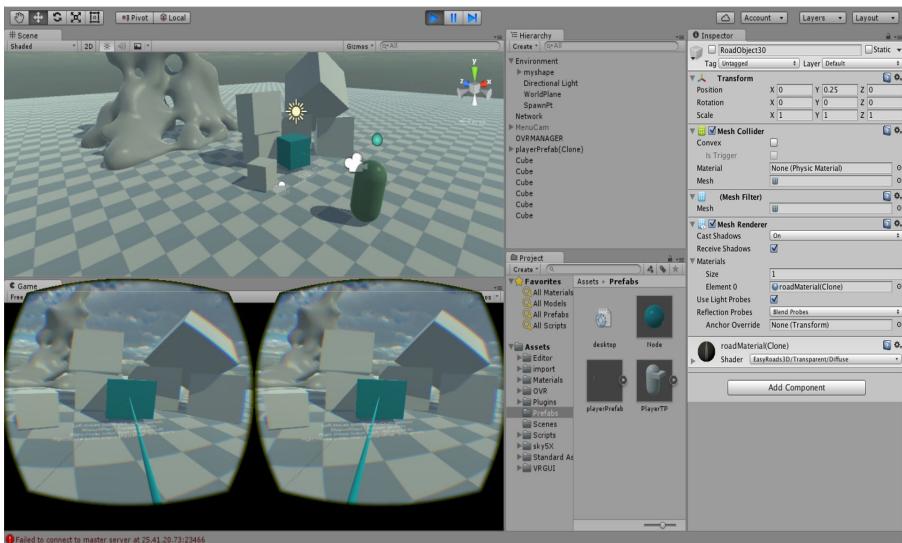
B. Configuration Logicielle

Tout comme pour la configuration matérielle, nous sommes dépendant des mises à jour des Runtimes et des librairies diffusés par les fabricants de casques de réalité virtuelle (en l'occurrence Oculus).

Notre outil de développement principal est Unity3D, un moteur de jeu supportant directement les librairies d'Oculus. Toute la programmation de la simulation est réalisée avec le langage C# au sein de cet environnement.

La coopération se fait sur un réseau virtuel privé, type réseau local LAN émulé par LogMeIn Hamachi, permettant la gestion de plusieurs clients.

L'intéropérabilité peut être faites avec autant de logiciels capables de traiter un fichier de coordonnées, ligne par ligne. Dans notre cas, nous appliquons à Grasshopper et Rhinoceros 3D de part leur polyvalence. Les utilisations ultérieures sont laissées au choix de l'utilisateur pour la post-production qu'il souhaite effectué (analyse, prototypage, fabrication...).



Capture d'écran de Unity3D

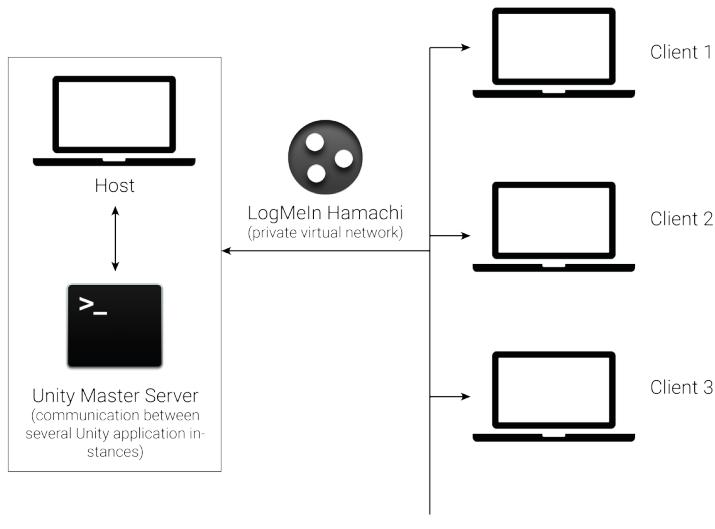


Schéma du dispositif de coopération

IV. BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE

BENEDIKT Michael, *Cyberspace. First steps*, Cambridge, The MIT Press, 1992

CARPO Mario, *The Alphabet and the Algorithm*, Cambridge, The MIT Press, 2011

DIODATO Roberto, *Esthétique du Virtuel*, Italie, Éditions Bruno Mondadori, 2005

HAYLES N. Katherine, *How We Became Posthuman. Virtual Bodies In Cybernetics, Literature, And Informatics*, Chicago, The University of Chicago Press, 1999

HUBERS J.C., VAN VEEN Misja, KIEVID Chris (dir.), *Game Set and Match I*, Delft, Delft University of Technology Faculty of Architecture, 2001

MILON Alain, *La Réalité Virtuelle. Avec ou Sans le Corps ?*, Paris, Autrement, collection Le corps plus que jamais, 2005

NOVAK Marcos, *Liquid Architectures in Cyberspace*, Cambridge, MIT press, 1991

OOSTERHUIS Kas, FEIREISS Lukas (dir.), *Game Set and Match II. On Computer Games, Advanced Geometries, and Digital Technologies*, Delft, Delft University of Technology Faculty of Architecture, 2006

RHEINGOLD Howard, *La Réalité Virtuelle. Quand l'illusion a toutes les apparences de la réalité*, Paris, Éditions Dunod, 1993

SANCHEZ Jose, *Gamescapes*, Londres, Studio Course Master at The Bartlett, 2013

SANCHEZ Jose, *Hacklikes. Weird Interactions Between Things*, TxA Interactive, 2013

SANCHEZ Jose , *Post-Capitalism Design. Design in the Age of Access*, ACADIA 2014

SPILLER Neil (dir.), *Architects in Cyberspace*, New Jersey, John Wiley & Sons, Architectural Design, Decembre 1996

SUTHERLAND Ivan, *The Ultimate Display*, Proceedings of the IFIP (International Information Security Conference) Congress, 1965

WALKER John, *Through the Looking Glass*, Note de service d'Autodesk, 1988

WOOLLEY Benjamin, *Virtual Worlds*, Oxford, Wiley-Blackwell, 1992