



HAL
open science

La Réalité Virtuelle au service de la conception architecturale participative : une étude exploratoire

Clémence Fandard, Matilde Lima De Albuquerque, Jeanne Vezien, Stéphane Safin, Julien Nelson

► **To cite this version:**

Clémence Fandard, Matilde Lima De Albuquerque, Jeanne Vezien, Stéphane Safin, Julien Nelson. La Réalité Virtuelle au service de la conception architecturale participative : une étude exploratoire. ERGO'IA 2021, Oct 2021, Bidart, France. hal-03365465

HAL Id: hal-03365465

<https://hal.science/hal-03365465v1>

Submitted on 6 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La Réalité Virtuelle au service de la conception architecturale participative : une étude exploratoire

Clémence Fandard

Université de Paris
Paris, France

fandard.clemence@live.fr

Matilde Lima de Albuquerque

Université de Paris
Paris, France

matilde.lima@outlook.fr

Jeanne Vézien

Université Paris-Saclay, CNRS,
Laboratoire Interdisciplinaire
des Sciences du Numérique,
91400, Orsay, France

jeanne.vezien@lisn.fr

Stéphane Safin

i3 - Institut interdisciplinaire de
l'innovation – CNRS – Télécom
Paris – Institut Polytechnique de
Paris – France

stephane.safin@telecom-paris.fr

Julien Nelson[†]

Centre Giovanni Borelli -
CNRS (UMR 9010)
Université de Paris
Paris, France

julien.nelson@u-paris.fr

ABSTRACT

Le *Building Information Modeling* (BIM) désigne un ensemble de technologies informatiques visant à étendre la logique de la gestion du cycle de vie des produits au champ de la conception architecturale. Parmi les possibilités offertes par ces technologies, les données issues du BIM peuvent être exploitées pour mettre au point une maquette immersive en Réalité Virtuelle (RV), par exemple en vue d'animer des séances de conception participative. Nous avons réalisé de telles séances dans le cadre d'un projet portant sur le design d'intérieur du futur *Learning Center* de l'Université Paris Saclay. L'analyse des échanges verbaux entre les participants au cours de ces séances de travail permet d'objectiver les apports de la RV et du BIM pour médiatiser l'activité de conception architecturale participative et d'identifier quelques pistes prioritaires pour des développements futurs.

CCS CONCEPTS

• Usability testing • Empirical studies in HCI •

KEYWORDS

Conception architecturale ; Réalité Virtuelle ; *Building Information Modeling* ; Activités de conception

ACM Reference format:

Clémence Fandard, Matilde Lima de Albuquerque, Stéphane Safin, Jeanne Vézien, Julien Nelson. 2021. La Réalité Virtuelle au service de la

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author. Copyright is held by the owner/author.

ERGO'IA 2021, October 6–8, 2021, Bidart, France.

ISBN: 978-1-4503-8512-1

conception architecturale participative : une étude exploratoire. In *Proceedings of Ergo'IA 2021*. ACM, New York, NY, USA, 7 pages.

INTRODUCTION

La conception architecturale est souvent présentée comme un archétype d'activité de conception [1,23,28]. Ces activités ont fait l'objet de nombreux travaux en ergonomie [5,15,16]. En architecture, elle peut être définie comme « *l'ensemble des activités cognitives et graphiques d'un individu ou d'un groupe d'individus, visant la composition originale et créative des éléments principaux d'un bâtiment à édifier ou à rénover et sa validation géométrique initiale, prenant en compte de nombreuses contraintes techniques, esthétiques, fonctionnelles ou culturelles, dans le but d'aboutir à des premières représentations de ce bâtiment, qui serviront de base à l'affinement du concept, son optimisation, et sa validation complète* » [25].

Ce type d'activité est reconnu comme un terrain particulièrement complexe pour l'intégration de l'ergonomie [24]. Ceci est lié en partie, en France, au cadre juridique entourant les projets de conception architecturale, qui impose (a) une attribution légale des responsabilités, notamment entre deux acteurs : le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre, et (b) une structuration spécifique du processus de conception, dans laquelle l'énoncé initial du problème de conception (ou *programme architectural*) est construit par le maître d'ouvrage, exprimant la volonté politique sous-jacente au projet, et les premières phases de recherche conceptuelle sont réalisées dans le cadre d'un concours où seul le cabinet lauréat sera autorisé à poursuivre l'élaboration d'un projet complet en tant que maître d'œuvre.

Tandis que de nombreux travaux sur la conception insistent sur l'existence de boucles entre la formulation du problème et la formulation de la solution [5,17], cette scission rend l'intégration d'une démarche de conception centrée sur l'humain

particulièrement difficile. En tant qu'Assistance à la Maîtrise d'œuvre (AMOE), l'ergonome pourra contribuer à la formulation et à l'évaluation de solutions de conception dans leurs différents formats successifs (esquisses, plans, maquettes CAO, etc.) mais pas à la rédaction de l'énoncé du problème de conception. En tant qu'Assistance à la Maîtrise d'ouvrage (AMO), il pourra le faire, mais pas intervenir auprès de l'architecte en animant les confrontations entre les utilisateurs et les différentes solutions proposées, selon les règles classiques de la conception itérative centrée utilisateurs [21].

Pour faire face à cette complexité, les interventions ergonomiques en conception architecturale s'appuient le plus souvent sur des méthodologies de simulation pour permettre la mise en débat de ces solutions au sein de l'équipe de conception, mais aussi entre la MOU et la MOE. Ces simulations peuvent s'appuyer sur des supports divers – plans, maquettes à échelle réduite ou à pleine échelle – qui constituent autant d'objets intermédiaires de la conception [29]. Comme dans d'autres domaines de la conception, on assiste depuis plusieurs années à une numérisation de l'ensemble du processus de conception architecturale. Dans ce contexte, de nombreux auteurs se sont intéressés à la conception d'IHM pour outiller le processus créatif des architectes en phase esquisse [9,27].

Le *Building Information Modeling*, ou BIM, constitue l'aboutissement le plus récent de cette logique de numérisation intégrale de l'activité de conception architecturale. Elle consiste à centraliser l'ensemble des informations relatives à un bâtiment au sein d'un modèle numérique unique [10,11]. Ce modèle est destiné à outiller les interactions entre tous les acteurs du cycle de vie du bâtiment, depuis l'élaboration du programme jusqu'à son utilisation et sa maintenance. En ce sens, le BIM opérationnalise les principes du *Product Lifecycle Management* dans le domaine de la conception architecturale. Parmi les perspectives offertes par le BIM, plusieurs auteurs ont proposé que ce modèle numérique pouvait servir de base à l'élaboration d'une maquette immersive du bâtiment en Réalité Virtuelle [6,20]. Toutefois, ces travaux se sont essentiellement intéressés aux problématiques de construction, et non d'usage. Dans cet article, nous rapportons les résultats d'une étude exploratoire réalisée dans le cadre du projet VR-BATIM à l'Université de Paris Saclay, autour du design d'intérieur d'un bâtiment dédié aux activités d'enseignement et de recherche. Ce bâtiment, appelé *Learning Center*, est aujourd'hui construit ; son processus de conception et sa construction se sont appuyés sur une base de données BIM. En revanche, à l'époque, le design d'intérieur n'était pas achevé. L'étude consiste à examiner les apports de cette maquette immersive à une démarche de conception participative.

METHODE

L'étude s'appuie sur cinq séances de conception participative, regroupant chacune entre 6 et 9 participants, utilisateurs du futur Learning Center, répartis en groupes de trois personnes. Les séances étaient animées par le chef de projet et par deux étudiantes

en ergonomie, et duraient en moyenne trois heures. Chaque séance portait sur un espace différent du Learning Center. Nous présentons ici les résultats relatifs à une seule de ces séances, menée par deux groupes de travail différents, où a été abordée la question de l'aménagement de salles de travail pour des groupes de 4 à 16 personnes. Les verbalisations des participants ont été enregistrées et retranscrites verbatim. Au total, le corpus correspond à une durée de quatre heures d'enregistrement et comporte 1 097 tours de parole.

Dans la séance analysée ici, les participants étaient installés en deux groupes de trois personnes. Chaque groupe était équipé d'un poste informatique comportant un écran de très grande taille et un système de Réalité Virtuelle à base de visiocasque stéréoscopique individuel (système HTC Vive Pro). L'utilisateur en immersion pilotait la navigation interactive au sein de la maquette numérique du Learning Center par l'intermédiaire du middleware TechViz, la maquette étant préalablement chargée dans le logiciel AutoDesk® NavisWorks®. Sur l'écran externe est affichée la maquette 3D du Learning Center asservie au point de vue du casque (Figure 1). Les participants avaient aussi accès à d'autres outils classiquement utilisés pour outiller le travail collaboratif : papier et crayon, ainsi que les logiciels de bureautique les plus courants, pour prendre des notes au cours de l'atelier et esquisser des solutions. Cependant, les résultats présentés ci-dessous ne concernent que l'analyse des interactions verbales entre les participants.



Figure 1 – Aménagement du poste de travail : au premier plan, l'utilisation en situation de navigation immersive à l'aide d'un contrôleur 3D. Sa vue subjective est renvoyée sur le grand écran.

Traitement des données verbales

Les échanges verbaux entre participants ont été retranscrits verbatim et soumis à un codage systématique selon la méthodologie proposée par Baker et al. [2]. Cette méthodologie considère les échanges verbaux produits pendant une séance de travail en conception comme des marqueurs des processus sociocognitifs sous-jacents. Elle en retient en particulier deux dimensions saillantes :

- La dimension *épistémique* rend compte des connaissances mises en jeu, mais aussi des connaissances produites au cours du processus de conception. Ces connaissances peuvent être matérialisées, par exemple, sous la forme des différents « objets intermédiaires » [22] produits et discutés par les concepteurs au cours du projet.
- La dimension *argumentative* rend compte « de l'évolution de l'engagement des acteurs par rapport aux solutions discutées ». Ces propositions prennent la forme de thèses, en faveur desquelles – ou contre lesquelles – les acteurs du projet vont produire des arguments. Les caractéristiques de l'objet conçu constituent, en quelque sorte, la résultante de ces processus argumentatifs [13].

Outre ces deux dimensions, Baker et al. [2] notent l'importance du rôle. Si de nombreux travaux ces dernières années se sont attachés à décrire le rôle comme une propriété émergente de l'activité même des concepteurs [3], il faut aussi rappeler que le processus de conception introduit, par construction, des rôles prescrits correspondant au statut de chaque participant. Nous avons ici distingué trois rôles prescrits : les utilisateurs – en distinguant, d'une part, l'utilisateur équipé du casque immersif et les utilisateurs postés devant le PC – et l'animateur, également chef de projet.

Enfin, en guise de première approche, soulignons que tous les échanges verbaux qui peuvent être produits et enregistrés dans une séance de conception ne portent pas sur la définition des caractéristiques de l'objet conçu. Une partie des échanges portera sur la régulation de la collaboration entre les acteurs de la conception [14,16]. En analysant le contenu des énoncés produits, nous avons identifié trois aspects principaux que pouvait prendre cette régulation :

- Une partie des échanges portait sur le maniement de l'outil technique (maquette virtuelle et dispositif d'exploration)
- Un autre sujet évoqué concernait l'articulation entre l'utilisation de cet outil et le travail de conception même, en particulier via la production d'annotations [7]
- Enfin, et de manière plus classique, une partie des échanges portait sur la synchronisation opératoire entre les différents

acteurs en présence [16], autrement dit l'organisation de leurs activités respectives dans le temps.

- La Figure 2 montre la répartition des tours de parole suivant leur objet. On constate que les trois éléments que nous venons de citer mobilisent une part conséquente des échanges, et que seuls 41% des tours de parole concernent les caractéristiques du bâtiment lui-même. C'est sur ce contenu que portera la suite des analyses.

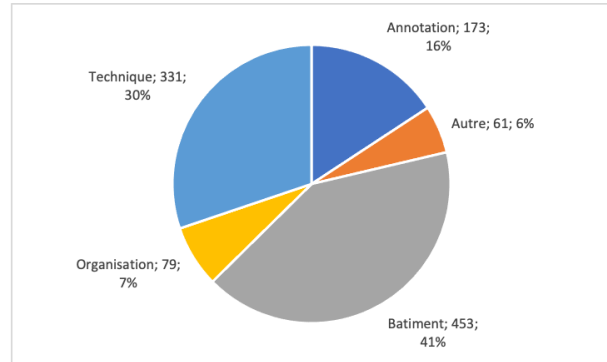


Figure 2 – Objets des différents tours de parole dans le corpus (moyenne des groupes)

Dimension épistémique

Pour coder la dimension épistémique des énoncés relatifs au bâtiment, nous avons eu recours à une approche bottom-up classique [4]. Ceci nous a permis de retenir huit thèmes (Tableau 1).

Dimension argumentative

Pour coder cette dimension, nous avons réutilisé le schème de codage proposé par Baker et al. [2] (**Error! Reference source not found.**).

Catégorie	Définition
Situation d'usage	Exemples de situation d'usage imaginée par les participants, qu'ils soient eux-mêmes les usagers ou projettent l'usage d'autres personnes.
Fonction de la salle	Énoncés se rapportant à la fonction générale d'une salle.
Caractéristiques	Particularités de la pièce (couleur, matériaux, etc.).
Espaces	Références aux dimensions, d'un équipement ou de la pièce.
Équipement	Référence aux mobiliers ou autres éléments présents ou à placer dans une pièce
Faisabilité	Prise en compte du caractère réalisable de la proposition, « est-ce que ce sera possible de mettre en œuvre telle ou telle idée ? »
Ambiance	Connaissances relatives à l'ambiance de la pièce, que ce soit une ambiance physique (luminosité, son, température) ou bien la perception subjective de cette dernière (relaxant, ludique, sérieux, feutré, chaleureux).
Mise en place	Moyens à mettre en place pour faire fonctionner tel ou tel service sur le plan logistique.

Tableau 1 – Catégories utilisées pour le codage de la dimension épistémique des énoncés

Catégorie	Définition
Thèse	Proposition de solution apportée au problème de conception à résoudre
Précision	Précision apportée à une thèse ou à un argument
Argument pour	Argument exprimé en faveur d'une thèse
Argument contre	Argument exprimé en défaveur d'une thèse
Acceptation	Acceptation d'une thèse
Rejet	Rejet d'une thèse
Interrogation	Tout énoncé interrogatif : demande de précision, question, requête, etc.

Tableau 2 - Catégories utilisées pour le codage de la dimension argumentative des énoncés

RESULTATS

Statistiques descriptives

L'analyse de la distribution des tours de parole en fonction du rôle montre que l'essentiel des énoncés ont été produits par les participants attablés au poste de travail PC (Figure 3). Le participant équipé du visiocasque a eu un niveau de contribution inférieur à la moyenne (14% vs. 34,5%). D'un point de vue strictement pragmatique, on peut noter que cette situation est peu souhaitable du point de vue de la conception créative, où l'équité dans l'expression des différents points de vue apparaît comme un objectif à atteindre [8].

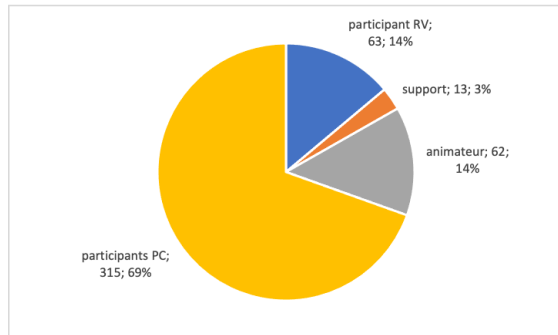


Figure 3 – Répartition des énoncés en fonction du rôle (tous groupes confondus)

Concernant la dimension épistémique, nous avons opté pour une stratégie de codage relativement conservatrice : nous n'avons associé une valeur à cette variable que dans les cas où le contenu de l'énoncé était explicitement en rapport avec l'une des catégories décrites dans le Tableau 1 – et pas, par exemple, lorsque le locuteur répondait à un énoncé précédent sans faire une allusion explicite à cette catégorie. Sur les 453 énoncés relatifs au bâtiment, seuls 401 présentent une valeur pour cette variable. La Figure 4 décrit la distribution des énoncés dans les différentes catégories. Les contenus épistémiques les plus fréquemment mentionnés sont les caractéristiques des pièces et des équipements qu'il contient, l'utilisation de l'espace, et les situations d'usage futur du bâtiment. Ensemble, ces quatre catégories réunissent près de 70% de tous les énoncés.

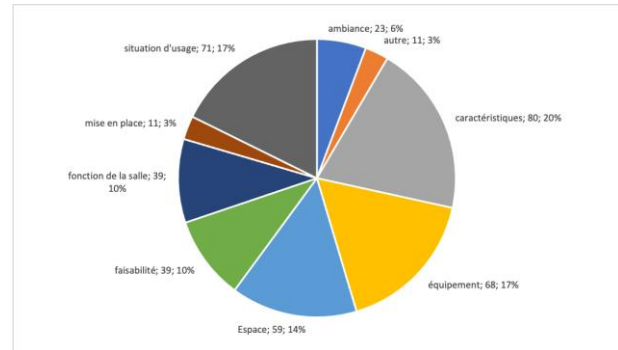


Figure 4 - Répartition des énoncés en fonction du contenu épistémique (tous groupes confondus)

Enfin, pour coder la dimension argumentative des énoncés, nous avons eu recours à la même stratégie conservatrice, ce qui a permis de ne retenir que 385 énoncés codés (Figure 5). Les catégories les plus représentées sont la formulation de thèse, de questions, et de précisions apportées à des thèses ou à des arguments. On note en revanche que l'acceptation, et surtout, le rejet de thèses, qui sont des marqueurs forts de l'activité de conception [2], sont particulièrement peu représentés.

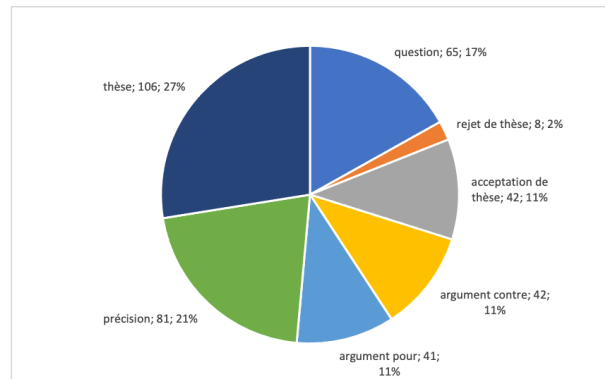


Figure 5 - Répartition des énoncés en fonction du contenu argumentatif (tous groupes confondus)

Statistiques bivariées

Nous avons eu recours à deux indices pour évaluer la force de l'association entre les différentes variables de notre analyse, prises

deux à deux : le V2 de Cramér, qui permet d'évaluer la force de cette association au niveau global, et le taux de liaison, qui permet plus spécifiquement d'identifier les attractions et répulsions au niveau de paires de modalités [12].

Pour la liaison entre le rôle et le contenu épistémique, le V2 est calculé à 0,04, ce qui correspond à une liaison de force intermédiaire. Le Tableau 3 montre les effectifs des croisements entre les rôles et les catégories de contenu épistémique, et indique les attractions et les répulsions que le calcul du taux de liaison a permis de repérer. Pour interpréter ces valeurs, nous nous sommes appuyés sur les valeurs repère proposées par [12] : la liaison sera considérée comme notable si le taux de liaison est supérieur à 0,66 en valeur absolue. L'analyse montre que l'animateur a eu tendance à évoquer les critères de faisabilité des solutions et la future mise en place du bâtiment. Le participant équipé du casque immersif, quant à lui, a eu tendance à évoquer les problématiques d'espace.

	Animateur	Participant PC	Participant RV
Ambiance	3	16	4
Autre	0	6	4
Caractéristiques	6	63	9
Équipement	9	49	7
Espace	4	39	13
Faisabilité	10	23	4
Fonction de la salle	5	29	5
Mise en place	4	6	1
Situation d'usage	16	46	7

Tableau 3 – Attractions (bleu) et répulsions (rouge) entre les rôles des participants et les catégories de contenu épistémique

Pour la liaison entre le rôle et le contenu argumentatif, le V2 de Cramér est calculé à 0,25, ce qui correspond à une liaison de force négligeable. Le détail des attractions et répulsions entre modalités est présenté dans le Tableau 4 ci-dessous.

	Animateur	Participant PC	Participant RV
Question	5	50	8
Rejet d'une thèse	2	4	1
Acceptation d'une thèse	1	31	7
Argument contre	2	35	5

Argument pour	3	33	5
Précision	17	51	11
Thèse	19	72	12

Tableau 4 - Attractions (bleu) et répulsions (rouge) entre les rôles des participants et les catégories de contenu argumentatif

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Nos résultats apportent une contribution aux travaux émergents explorant les apports de la réalité virtuelle à la conception architecturale – et plus particulièrement, à l'association de la RV avec les technologies du *Building Information Modeling*. L'analyse des énoncés verbaux produits dans le cadre de deux réunions de travail portant sur le design d'intérieur d'espaces de travail en groupes a permis de formuler quelques premières conclusions quant au potentiel de ces outils comme médiateurs de l'activité de conception.

Un premier constat issu de l'analyse de ce corpus d'énoncés verbaux est que l'immaturation de cette technologie pose un obstacle à l'activité de conception. 30 % des échanges ont porté sur la technique, sans doute au détriment de la tâche. Il s'agit peut-être là d'une marque d'un effet de nouveauté de la technologie BIM-RV. Des études ultérieures devront être menées pour examiner si cette prédominance du dialogue sur la technique et l'organisation du travail perdure dans le temps, ou bien si le collectif parvient à constituer des stratégies permettant d'atténuer ces difficultés. Nous pensons en particulier que la maturation de ces technologies permettra une meilleure intégration entre les outils de visualisation et de navigation dans la maquette virtuelle d'une part, et de prise de décision pour la conception d'autre part.

Nos résultats suggèrent qu'en l'état, l'activité médiatisée par l'outil BIM-RV présente certains marqueurs des activités de conception – la formulation de thèses, l'apport de précisions, et le fait de formuler des interrogations – mais que d'autres, au contraire, sont très peu présentes dans le discours des concepteurs – le rejet de thèses et la formulation d'arguments. Tout se passe comme si l'outil avait davantage un rôle d'exposition de solutions de conception sans que ces solutions puissent réellement être discutées. Les contraintes techniques y sont pour beaucoup, comme le suggèrent aussi d'autres travaux portant sur l'utilisation de la RV pour outiller les activités de conception [18,19,27]. En effet, la méthodologie que nous avons présentée pour convertir les données BIM en maquette numérique ne permet pas de produire des maquettes qui puissent être éditées directement depuis l'environnement virtuel [26]. Ce chantier semble prioritaire pour tirer le plein avantage de l'association entre les technologies du BIM et de la RV. Pour l'heure, une première piste de développement consisterait à développer les fonctions d'annotation – par écrit ou par oral – du contenu de la maquette au cours de la navigation dans l'environnement virtuel.

Une seconde piste pour des développements futurs consiste à développer des solutions de navigation multi-utilisateurs dans l'environnement virtuel. Nos résultats montrent en effet que le participant équipé du visiocasque est intervenu moins fréquemment dans la séance de travail, en partie parce que les caractéristiques techniques de l'interface lui imposent une tâche supplémentaire : la gestion de la position de la caméra, asservie à la position de sa tête, dans l'environnement virtuel. Ces interactions supposent aussi une coordination explicite des points de vue entre participants VR et participants PC, ce qui constitue une difficulté supplémentaire. Ces solutions multi-utilisateurs pourront reposer sur des interactions localisées [31] ou bien distribuées [30]

REFERENCES

- [1] Omer Akin. 1978. How do architects design? In *Artificial intelligence and pattern recognition in computer-aided design*, J.C. Latombe (ed.). North Holland, New York, NY, 65–104.
- [2] Michael J. Baker, Françoise Détienne, Kristine Lund, and Arnaud Séjourné. 2009. Étude des profils interactifs dans une situation de conception collective en architecture. In *Méthodologies d'analyse de situations coopératives de conception : Corpus MOSAIC*, Françoise Détienne and Véronique Traverso (eds.). Presses Universitaires de Nancy, Nancy, 183–220.
- [3] Flore Barcellini, Françoise Détienne, and Jean-Marie Burkhardt. 2014. A Situated Approach of Roles and Participation in Open Source Software Communities. *Human-Computer Interact.* 29, 3 (2014), 205–255. DOI:https://doi.org/10.1080/07370024.2013.812409
- [4] Laurence Bardin. 2007. *L'analyse de contenu*. PUF, Paris.
- [5] Nathalie Bonnardel. 2006. *Créativité et conception: approches cognitives et ergonomiques*. Solal, Marseille.
- [6] Conrad Boton. 2018. Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation. *Autom. Constr.* 96, (December 2018), 1–15. DOI:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.020
- [7] Jean-François Boujut, Françoise Darses, and Sylvie Guibert. 2006. Etude des annotations en situation collaborative de conception mécanique. In *Annotations dans les documents pour l'action*, Pascal Salembier and Manuel Zacklad (eds.). Lavoisier, Paris, 127–152.
- [8] Jean-Marie Burkhardt, Françoise Détienne, Anne-Marie Hébert, Laurence Perron, Stéphane Safin, and Pierre Leclercq. 2009. An approach to assess the quality of collaboration in technology-mediated design situations. In *Proceedings of ECCE 2009 : European Conference on Cognitive Ergonomics.*, Hensinki.
- [9] Jean-Marie Burkhardt, Françoise Détienne, Linda Moutsinga Mpaga, Laurence Perron, Stéphane Safin, and Pierre Leclercq. 2008. Conception architecturale collaborative avec un “bureau augmenté” : une étude exploratoire de l'effet de la distance et de la co-localisation. In *Actes du congrès de la SELF*.
- [10] Xaviera Calixte, Samia Ben Rajeb, Guillaume Gronier, and Pierre Leclercq. 2019. Questionnement de la synchronisation de l'information par les usages logiciels (BIM) en conception architecturale collaborative. In *Actes du colloque EPIQUE*.
- [11] Olivier Celnik and Eric Lebègue. 2016. *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction* (2nd ed.). Eyrolles, Paris.
- [12] Denis Corroyer and Marion Wolff. 2003. *L'analyse statistique des données en psychologie*. Armand Colin, Paris.
- [13] Françoise Darses. 2006. Analyse du processus d'argumentation dans une situation de reconception collective d'outillages. *Trav. Hum.* 69, 4 (2006), 317–347. DOI:https://doi.org/10.3917/th.694.0317
- [14] Françoise Darses. 2009. Résolution collective des problèmes de conception. *Trav. Hum.* 72, 1 (2009), 43–59. DOI:https://doi.org/10.3917/th.721.0043
- [15] Françoise Darses, Françoise Détienne, and Willemien Visser. 2004. Les activités de conception et leur assistance. In *Ergonomie*, Pierre Falzon (ed.). PUF, Paris, 545–563.
- [16] Françoise Darses and Pierre Falzon. 1996. La conception collective: une approche de l'ergonomie cognitive. In *Coopération et conception*, G. de Terssac and E. Friedberg (eds.). Octarès, Toulouse, 123–135.
- [17] Kees Dorst and Nigel Cross. 2001. Creativity in the design process: co-evolution of problem–solution. *Des. Stud.* 22, 5 (September 2001), 425–437. DOI:https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6
- [18] Tomás Dorta. 2007. Augmented sketches and models: The hybrid ideation space as a cognitive artifact for conceptual design. In *Proceedings of digital thinking in architecture, civil engineering, archaeology, urban planning and design: finding the ways*, 251–264.
- [19] Tomás Dorta, Gokce Kinayoglu, and Michael Hoffmann. 2016. Hyve-3D and the 3D Cursor: Architectural co-design with freedom in Virtual Reality. *Int. J. Archit. Comput.* 14, 2 (June 2016), 87–102. DOI:https://doi.org/10.1177/1478077116638921
- [20] Jing Du, Zhengbo Zou, Yangming Shi, and Dong Zhao. 2018. Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. *Autom. Constr.* 85, (January 2018), 51–64. DOI:https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.009
- [21] ISO 13407. 1999. *Norme ISO 13407: Processus de conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*. International Standards Organization.
- [22] Alain Jeantet, Henri Tiger, Dominique Vinck, and Serge Tichkiewitch. 1996. La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit. In *Coopération et conception*, Gilbert de Terssac and Ehrhard Friedberg (eds.). Octarès, Toulouse, 87–100.
- [23] Brian Lawson. 1979. Cognitive strategies in architectural design. *Ergonomics* 22, 1 (1979), 59–68. DOI:https://doi.org/10.1080/00140137908924589
- [24] Christian Martin. 2012. *Maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'oeuvre : construire un vrai dialogue* (2nd ed.). Octarès, Toulouse.
- [25] Stéphane Safin. 2011. Processus d'externalisation graphique dans les activités cognitives complexes : le cas de l'esquisse numérique en conception architecturale individuelle et collective. Thèse de doctorat. Université de Liège, Liège.

- [26] Stéphane Safin and Tomás Dorta. 2020. Unfolding laypersons creativity through Social VR: A case study. In *Proceedings of eCAADe 2020: 38th Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*.
- [27] Stéphane Safin, Pierre Leclercq, and Françoise Decortis. 2007. Impact d'un environnement d'esquisses virtuelles et d'un modèle 3D précoce sur l'activité de conception architecturale. *Rev. des Interact. Hum. médiatisées* 8, 2 (2007), 1–34.
- [28] Herbert A. Simon. 1973. The structure of ill structured problems. *Artif. Intell.* 4, 3–4 (1973), 181–201. DOI:[https://doi.org/10.1016/0004-3702\(73\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0004-3702(73)90011-8)
- [29] Dominique Vinck. 2011. Taking intermediary objects and equipping work into account in the study of engineering practices. *Eng. Stud.* 3, 1 (April 2011), 25–44. DOI:<https://doi.org/10.1080/19378629.2010.547989>
- [30] Tim Weissker, Pauline Bimberg, and Bernd Froehlich. 2021. An Overview of Group Navigation in Multi-User Virtual Reality. In *2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, IEEE, 363–369. DOI:<https://doi.org/10.1109/VRW52623.2021.00073>
- [31] Yiran Zhang, Nicolas Ladeveze, Cédric Fleury, and Patrick Bourdot. 2019. Switch Techniques to Recover Spatial Consistency Between Virtual and Real World for Navigation with Teleportation. In *16th EuroVR International Conference, EuroVR 2019*, 3–23.