

# Vers une autre pratique architecturale à l'ère numérique : les technologies (RV), (RA) en tant qu'agent spatiales dans le processus de conception architecturale

## *Toward an alternative way of architectural practice in the Digital Age: (VR), (AR) technologies as a Spatial Agency in the architectural design process*

Fatah Bakour<sup>1,\*</sup>, Ali Chougui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Architecture and Earth Sciences, Housing and Environment Laboratory, Ferhat Abbas University, Setif, Algeria

**Résumé.** L'essor des technologies de conception numérique, telles que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA), a profondément transformé le domaine de l'architecture, rendant le processus de conception plus interactif et impliquant divers acteurs, notamment les architectes, ingénieurs, entrepreneurs et clients. Ce passage à un processus de collaboration active a redéfini les relations entre ces acteurs/actants, passant d'une interaction linéaire à une relation ontologique influencée par l'agentivité des objets technologiques. Ces objets sont désormais des éléments centraux du processus, modifiant la manière dont les parties prenantes envisagent la conception architecturale. En intégrant l'agentivité spatiale, cette étude propose un cadre dynamique et réactif qui enrichit la conception et la réalisation de l'environnement bâti. Elle vise à définir et analyser le rôle des objets technologiques au sein des réseaux socio-techniques de la conception architecturale, à l'aide de la méthode de cartographie des controverses, fondée sur la théorie de l'acteur-réseau (TAR) de Bruno Latour. Les résultats révèlent que l'agentivité des objets technologiques, dans le contexte numérique, favorise un dialogue en temps réel et à boucles multiples. Les conclusions et le cadre méthodologique présentés offrent une référence stratégique pour les architectes dans l'élaboration de processus de conception innovants et collaboratifs.

**Mots clés.** L'agentivité spatiale, la (TAR), La pratique architecturale, le processus de conception numérique, (RV) et (RA) technologies.

---

\* Corresponding author: [fatah.bakour@univ-setif.dz](mailto:fatah.bakour@univ-setif.dz)

**Abstract.** The field of architecture is being transformed by advanced digital technologies like virtual reality (VR), augmented reality (AR), and mixed reality (MR), which have enhanced the design process, making it more interactive and engaging a broader range of participants. This shift has redefined relationships among these actors, moving from simple exchanges to ontological connections shaped by technological objects. Spatial Agency, conversely, offers a reactive approach that aims to renew our understanding and construction of the built environment through a dynamic and evolving process. This study seeks to define, visualize, and analyze the agency of technological objects, particularly VR and AR, within the socio-technical networks underlying architectural design in the digital age. To pursue this aim, we adopted the Mapping Controversies methodology, grounded in Bruno Latour's Actor-Network Theory (ANT). Findings reveal that technological objects, in today's digital context, act as agents that enhance the architectural design process by enabling real-time, multi-loop interactions within the design system. This study's results and methodological framework provide architects with a strategic reference for innovating their design processes and leveraging digital tools in practice.

**Keywords.** *Spatial Agency*, (ANT), Architectural Practice, Digital design process, (VR) and (AR) technologies.

## 1 Introduction

L'ère numérique, également connue sous le nom de quatrième révolution industrielle, a entraîné une transformation dans le domaine de l'architecture. L'émergence de technologies de conception numérique avancées, telles que la réalité virtuelle (RV), la réalité augmentée (RA) et la réalité mixte (RM), a permis aux architectes de relever des défis de conception complexes et de produire des transformations significatives dans le processus de conception architecturale. Les machines et autres technologies non humaines jouent un rôle crucial dans le processus de conception, en facilitant la pratique collaborative et l'engagement des utilisateurs. Cela a modifié la manière dont les architectes abordent les défis architecturaux, conduisant à des solutions plus innovantes et plus efficaces. Le processus de conception architecturale est le fruit d'une collaboration entre divers acteurs et actants hétérogènes, et l'utilisation de technologies avancées a permis de rendre ce processus plus productif et efficace. Grâce aux technologies numériques de conception, l'avenir de l'architecture est plus prometteur que jamais [1]. En conséquence, le processus de conception actuel a évolué, passant d'une relation réciproque à une relation ontologique, influencée par la capacité des objets technologiques à agir en tant qu'acteurs/actants au sein d'un réseau sociotechnique complexe dans le processus de conception architecturale [1]. Parallèlement, l'agentivité spatiale est devenue l'un des approches de déconstruction les plus importants de ces dernières années [2]. Elle s'appuie sur une approche réactive, fondée sur un processus dynamique et temporaire [3], dans lequel de multiples acteurs et actants émergent au sein de réseaux sociotechniques complexes et dynamiques pour transformer les pratiques et perspectives en architecture [4]. La problématique de cette recherche réside dans l'absence d'une compréhension holistique et ontologique de la manière dont des objets technologiques comme la RV et la RA, en tant qu'acteurs/actants dans un réseau de relations ontologique et dynamique, influencent et automatisent la pratique architecturale, et plus particulièrement dans la manière dont ces technologies influencent le processus de conception architecturale en tant que système basé sur un réseau sociotechnique d'acteurs.

Les objectifs de cet article sont de retracer, définir, visualiser et analyser ontologiquement la capacité d'agir des objets technologiques, tels que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA), au sein des réseaux sociotechniques du processus de conception architecturale. Il vise également à offrir une vision holistique des acteurs et actants impliqués dans ce processus, en ouvrant la « boîte noire » du système de conception architecturale numérique. La principale contribution de cette recherche au domaine réside dans la fourniture d'un cadre théorique et pratique basé sur une perspective sociotechnique explicite, permettant aux architectes praticiens de mieux appréhender et maîtriser la complexité du processus de conception architecturale numérique grâce à l'approche de l'agentivité spatiale. En conséquence, un ensemble de données connexes a été collecté à partir d'une étude de cas réelle et pertinente d'un cabinet d'architecture intégrant des avancées numériques, notamment la RV et la RA, dans son processus de conception innovant. Pour atteindre ces objectifs, nous avons adopté une méthodologie fondée sur la cartographie des controverses, un outil pratique de la théorie de l'acteur-réseau (TAR) développée par Bruno Latour [5].

Ce document est structuré en quatre parties pour offrir une vue d'ensemble complète et faciliter une meilleure compréhension de la manière dont l'agentivité spatiale des objets technologiques, tels que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA), influence le processus de conception architecturale à l'ère numérique. Il introduit également le développement d'une méthodologie unique visant à identifier, capturer, analyser et représenter les aspects hautement dynamiques et multidisciplinaires de ce processus. La première partie propose une revue de l'état de l'art et présente un cadre théorique basé sur la littérature existante concernant l'application de la RV et de la RA en conception architecturale. Il offre également un aperçu de l'approche de l'agentivité spatiale, en conceptualisant la relation entre la théorie de l'acteur-réseau et l'agentivité spatiale, et en soulignant l'importance de la technique de cartographie des controverses. La deuxième partie détaille les étapes procédurales de la méthodologie proposée, qui repose sur la cartographie des controverses. La troisième partie présente une étude de cas pertinente, illustrant un processus de conception architecturale innovant mis en œuvre par un cabinet d'architecture intégrant les technologies de RV et de RA. La quatrième partie expose les résultats, discute des principales contributions de cet article et propose des recommandations essentielles pour améliorer la compréhension de l'approche de l'agentivité spatiale. Il se termine par des informations complémentaires, incluant des perspectives pour des recherches futures. La structure de cette recherche est résumée dans la Figure 1 :

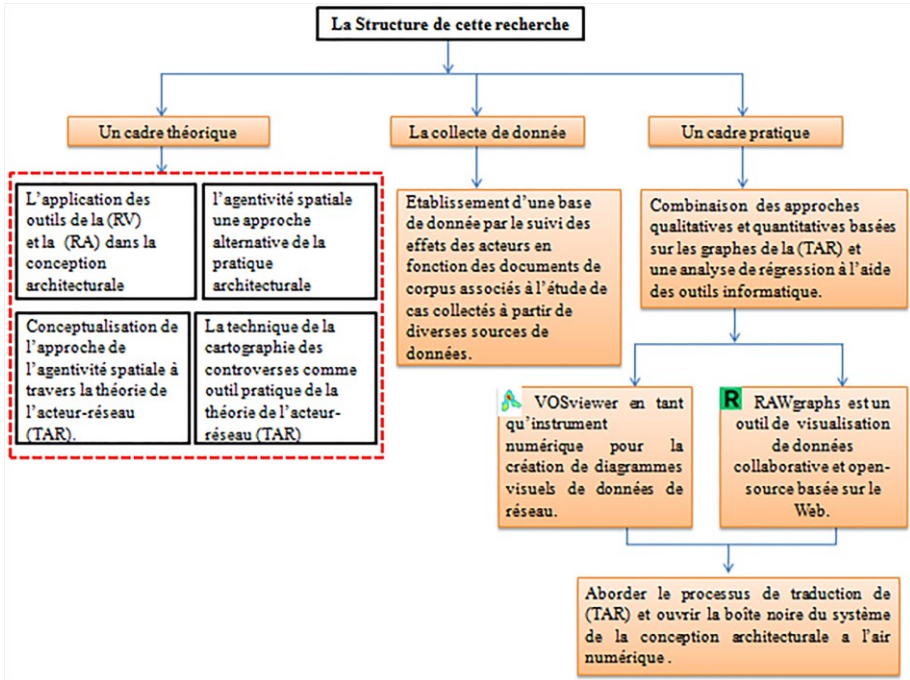


Fig. 1. La structure de cette recherche. Source auteurs

## 2 Le cadre théorique

### 2.1 L'application des outils de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée dans le processus de conception architecturale numérique

La réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) sont des technologies innovantes susceptibles de transformer profondément le domaine de l'architecture. En 1994, Milgram et Kishino [6] ont introduit le concept de réalité mixte (RM), qui recouvre un continuum de réalités, de l'environnement réel à l'environnement virtuel, intégrant ainsi la RV et la RA. Ce continuum de la RV est illustré à la Figure 1 [7]. Ces technologies offrent un éventail de possibilités pour les applications les plus récentes dans les secteurs de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC). Elles sont déployées à différentes phases des processus de conception, de construction, de communication et de prise de décision collaborative [8]. De plus, les technologies de RV, de RA et de RM peuvent également soutenir la gestion des bâtiments et l'enseignement de la conception. Selon Schnabel, Kvan, Kruijff et Donath [9], les environnements virtuels offrent aux concepteurs une meilleure perception de l'espace, permettant de vivre son fluidité et sa fonctionnalité, au lieu de se limiter à des représentations en 2D.

Par ailleurs, les systèmes de réalité augmentée (RA) permettent une interaction en temps réel et une visualisation en 3D en combinant les mondes réel et virtuel [10]. En architecture, les applications de la RA peuvent être développées avec diverses techniques, comme le « HMD AR », le « Tangible AR », le « SDAR » (Smart Device AR) ou le « SAR », qui impliquent toutes une fusion d'informations réelles et virtuelles. Les technologies de réalité mixte (RM) vont plus loin en fusionnant les mondes numérique et physique [11]. En architecture, la RM permet de superposer des éléments existants, tels que des plans en 2D

ou des modèles en 3D, à un environnement réel, aidant ainsi les concepteurs à appréhender intuitivement l'espace et à partager leur travail [12].

Dans ce qui suit, le champ théorique de cette recherche se concentre sur la recherche pertinente qui aborde les derniers aspects techniques et les applications qui ont été développées en utilisant ces outils (VR) et (AR) pour aider la pratique de l'architecte et aider les concepteurs à accompagner leur processus de conception, pour soutenir l'idéation, la simulation ou l'évaluation de la conception.

L'application des technologies de réalité virtuelle (RV) dans le processus de conception est communément désignée sous le terme de « conception assistée par la réalité virtuelle » ou « VRAD ». Cette approche implique l'interopérabilité entre les modèles numériques, issus de la conception assistée par ordinateur (CAO), et les modèles virtuels, intégrés dans un environnement virtuel *EV*. Selon Fuchs, Moreau et Guittou [13], les concepteurs qui utilisent des outils de VRAD doivent enrichir le modèle d'informations supplémentaires par rapport à une conception traditionnelle avec des outils de CAO. En effet, le comportement de chaque élément doit être soigneusement défini dans l'*EV*. Les avantages de la VRAD tels qu'expliqués par ces auteurs, incluent l'enrichissement de la créativité, la contextualisation des résultats de conception, la possibilité de changer l'échelle des modèles virtuels, et la clarification des représentations virtuelles, ce qui favorise l'intégration des utilisateurs finaux dans le processus de conception. L'équipe de recherche de Dorta s'est engagée pendant plusieurs années dans le développement d'une plateforme de conception immersive, appelée *Hybrid Ideation Space* (HIS). Récemment, elle a introduit « HYVE-3D » (*Hybrid Virtual Environment - 3D*) pour promouvoir l'idéation immersive et la collaboration, que ce soit de manière synchrone ou à distance, dans le domaine de la conception [14]. HYVE-3D offre aux concepteurs la possibilité de dessiner directement dans l'*EV* affiché sur un écran de 360°, à l'aide d'un iPad, qui sert également d'interface pour naviguer entre les différents chemins et interagir avec l'*EV*. Ce système crée un espace immersif où les designers peuvent effectuer des croquis. La fluidité entre le croquis et la visualisation numérique améliore le flux de conception de l'utilisateur et, par conséquent, la qualité des résultats obtenus [15].

La collaboration et la communication représentent seulement quelques-uns des avantages offerts par les applications de réalité augmentée (RA) dans les activités de conception. Cependant, peu d'études ont été réalisées sur des cas d'utilisation concrets. L'une d'elles, menée par Gül et Halici [16], a examiné divers modèles de comportement en matière de conception collaborative en fonction de l'espace de travail utilisé, qu'il s'agisse d'un environnement de modèle analogique ou d'un environnement « SDAR » (*Smart Device Augmented Reality*). L'étude a révélé que l'utilisation de l'application « SDAR » augmentait l'efficacité de la génération d'idées et du développement de la conception, grâce à une réduction de la charge cognitive pesant sur les concepteurs.

Le système « BenchWork », qui intègre une « TUI » (Tangible User Interface) et un « HMD » (*Head-Mounted Display*) [17], a été développé pour offrir un environnement de conception collaborative. Ce système permet aux utilisateurs de visualiser leurs dessins, de créer de nouvelles formes et d'écrire des notes au sein d'un espace virtuel. Parallèlement, la « CDP » (*Collaborative Design Platform*) constitue un autre système offrant un cadre de visualisation pertinent. Sa dernière version prototype combine un système de table tangible avec une application « SDAR » (*Smart Device Augmented Reality*) [18]. Grâce à ce système, les utilisateurs peuvent placer des modèles en mousse sur la table augmentée et visualiser des représentations 3D de l'ensemble de la zone urbaine, ainsi que des simulations 3D, telles que le comportement du vent ou les ombres, à l'aide d'une tablette. Ces systèmes présentent diverses applications, notamment dans le domaine de la décoration d'intérieur.

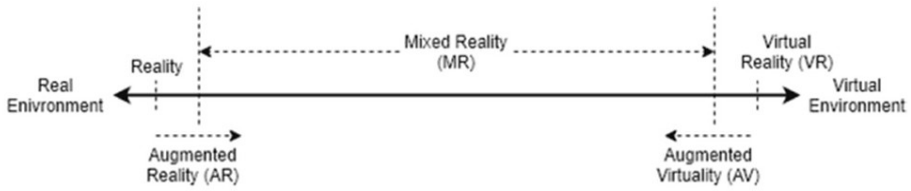


Fig. 2. Représentation graphique du continuum réalité-virtualité (VR). Adapté de [20].

## 2.2 l'agentivité spatiale une approche alternative de la pratique architecturale

Giddens [19] définit l'« agentivité » comme la capacité d'agir, englobant toutes les actions humaines ainsi que le système de règles au sein des systèmes sociaux qui habilite et contraignent les individus. Ce concept positionne les individus comme des agents de changement, contribuant ainsi à la création d'espaces dynamiques. L'agentivité spatiale s'étend au-delà des seules actions humaines pour inclure les ressources et les processus architecturaux, intégrant à la fois des éléments humains et non humains dans un cadre plus large [20]. L'approche de l'agentivité spatiale, influencée par les idées de Lefebvre [21], met l'accent sur le caractère collaboratif du travail architectural et prône des méthodologies qui remettent en question le statu quo [22]. Le concept de « *Other Ways of Doing Architecture* » encourage une utilisation progressive de l'intelligence du design tout en promouvant des conceptions orientées vers le social, en collaboration avec divers acteurs, afin de défier les normes établies [23, 20]. Schneider et Till [24] décrivent l'agentivité spatiale comme une forme de partage du pouvoir et d'engagement participatif, favorisant des processus spatiaux alternatifs. Cette approche contemporaine vise à transformer la pratique architecturale [25] en impliquant de multiples acteurs au sein de processus dynamiques et de réseaux complexes [22]. Elle souligne l'impact des actions intentionnelles sur l'environnement physique, ouvrant ainsi de nouvelles voies pour l'exploration et la création de l'environnement bâti [26]. Pour appréhender l'agentivité spatiale, il est essentiel d'élargir le concept d'agentivité au-delà des intentions humaines et de considérer l'architecture sous un angle qui transcende sa matérialité.

## 2.3 Conceptualisation de l'approche de l'agentivité spatiale à travers la théorie de l'acteur-réseau (TAR)

La théorie de l'acteur-réseau (TAR) émerge dans le cadre plus large des études scientifiques et technologiques (STS), qui se concentrent sur l'analyse de la construction des faits scientifiques et des artefacts technologiques sous un angle social et spatial [27, 28]. La TAR conçoit le monde comme une série de réseaux interconnectés, mettant en lumière l'agentivité et les rôles performatifs des acteurs, qu'ils soient humains ou non-humains. En tant qu'approche ontologique, la TAR considère les relations sociotechniques comme fluides et dynamiques, réinventant des concepts tels que le pouvoir et la capacité d'agir, qui sont envisagés comme des processus en cours d'exécution plutôt que comme des états statiques, applicables tant aux niveaux micro que macro [29]. Le réseau d'acteurs est ainsi assimilé à une toile rhizomatique, sans début ni fin clairs [30]. Ce cadre remet en question les dichotomies traditionnelles telles que sujet/objet et humain/non-humain, telles qu'imposées par les conventions de recherche sociale. Dans *Reassembling the Social*,

Latour [36] critique les limites de la théorie sociale conventionnelle et introduit la notion de « sociologie de la traduction », qui se concentre sur la traçabilité des associations. Il distingue la sociologie du social et la sociologie des associations, en soulignant l'importance des interactions entre acteurs humains et non-humains. La TAR, dans le cadre de la « sociologie des associations », propose une nouvelle compréhension de l'agentivité, ou capacité d'agir, en intégrant les éléments humains et non humains de manière symétrique et simultanée. Cela nécessite une redéfinition dynamique de l'agentivité spatiale, prenant en compte les interactions entre humains et non-humains, ce qui remet en question les conceptions architecturales statiques. Bien qu'une exploration détaillée du projet de Latour sur la théorie de l'acteur-réseau (TAR) dépasse le cadre de ce document, certains concepts clés, tels que « acteur/actant », « réseau d'acteurs », « processus de traduction » et « boîte noire », seront abordés. Cela permettra d'offrir un cadre alternatif pour comprendre l'agentivité spatiale, s'éloignant ainsi d'une sociologie centrée sur l'humain.

### 3 Matériel et méthodes

#### 3.1 L'analyse

Une analyse typique de la théorie de l'acteur-réseau (TAR) consisterait en un compte rendu riche qui donne une figuration, c'est-à-dire des descriptions détaillées, aux acteurs (humains et non-humains) et explique comment ces acteurs articulent les propriétés du réseau d'acteurs qui les ont créés. L'attention doit également être portée à l'identification des acteurs qui sont obligatoirement nécessaires à la formation d'un réseau, souvent désignés comme des points de passage. La traduction est probablement la caractéristique la plus reconnue de la TAR [32]. Le processus de traduction décrit quelles associations existent, comment elles évoluent, comment les acteurs sont inscrits dans un réseau et comment ils atteignent une stabilité temporaire [33]. Il y a quatre moments dans le processus de « traduction » [34], qui seront déterminés dans le flux procédural de cette méthodologie. Premièrement, dans la phase de *problématisation*, les acteurs définissent non seulement le problème, mais aussi eux-mêmes, leur relation au problème, leur rôle indispensable, et comment l'un des acteurs devient un point de passage. Deuxièmement, dans la phase d'*intéressement*, un acteur ou un ensemble d'acteurs impose et stabilise l'identité d'autres acteurs par le biais d'un ensemble d'actions d'intérêt pour tous les acteurs impliqués. Troisièmement, la phase d'*enrôlement* est atteinte si l'intérêt est réussi ; elle désigne le dispositif par lequel un ensemble de rôles interdépendants est défini et attribué à des acteurs qui les acceptent. Quatrièmement, dans la phase de *mobilisation*, les acteurs s'accordent sur qui parle au nom de qui ou qui représente qui, ce qui conduit la traduction au consensus et aux alliances [34].

Pour déconstruire les controverses, un flux procédural en trois phases a été élaboré basé sur des outils numériques de précision utilisant différents types d'algorithmes d'optimisation de graphes. Plus précisément, nous utilisons le logiciel « VOSviewer 1.6.20 » pour tracer et explorer les réseaux de données scientifiques [35] et « RAWGraphs » en tant qu'outil de visualisation et d'analyse des données complexes [36]. Cette méthode nous permet d'appliquer efficacement les quatre moments du processus de traduction de la théorie de l'acteur-réseau (TAR). La première étape consiste à identifier et à suivre la traçabilité des effets d'acteur, en collectant diverses données pertinentes liées au cas d'étude. Nous établissons des réseaux de cooccurrence des acteurs les plus

apparentés à l'aide d'algorithmes de traitement du langage naturel au sein du logiciel « VOSviewer » [37]. Cette étape est similaire au moment de la problématisation dans le processus de traduction de la TAR. Dans la deuxième étape, nous visualisons la disposition du réseau des actants en fonction de la pondération totale du lien entre les acteurs et de la cooccurrence des acteurs dans le réseau, à l'aide de la technique de visualisation de réseau [38]. Cette étape correspond au moment de l'intéressement dans le processus de traduction de la TAR, nous permettant de visualiser les acteurs intermédiaires au sein du réseau. De plus, cette étape nous permet également de conceptualiser et de visualiser l'acteur du point de passage obligatoire (OPP) et l'acteur focal au sein de notre structure de réseau. Dans la troisième étape, nous appliquons une visualisation de la densité des clusters pour identifier les sous-systèmes qui composent notre réseau dans le processus de conception architecturale numérique, Il s'agit de groupes d'actants partageant les mêmes attributs, où chaque groupe d'actants, possédant des caractéristiques communes, est représenté par une couleur particulière grâce à une technique de calcul de la modularité dans le logiciel « VOSviewer 1.6.20 ». Cette étape correspond aux deux moments consécutifs du processus de traduction dans la théorie de l'acteur-réseau (TAR), à savoir la phase d'*enrolment* et la phase de *mobilisation*. De plus, nous avons mis en évidence l'"agency", ou la capacité d'agir, du groupe le plus influent au sein de notre structure de réseau. À ce stade, nous avons réalisé une analyse de régression en utilisant une méthode de calcul basée sur des algorithmes de graphes dans l'outil « RAWGraphs » [36], pour identifier les relations entre les acteurs impliqués dans la structure du réseau et déterminer les actants clés qui façonnent le réseau dynamique, ainsi que leur concordance avec les acteurs clés associés dans le processus de traduction de la TAR. Ces acteurs incluent les médiateurs et les porte-parole. Cela nous permet d'ouvrir la « boîte noire » du processus de conception architecturale numérique, afin d'arriver à une explication ontologique sur l'impact des objets technologiques.

### **3.2 Les données**

La collecte de données pour cette recherche interprétative s'appuie sur la technique d'exploration de texte utilisée au sein du logiciel « Vosviewer » [37], qui permet de suivre la traçabilité des acteurs impliqués grâce à leur cooccurrence dans le texte et à la construction d'une carte des réseaux d'acteurs à l'aide de différents types d'algorithmes d'optimisation des graphes. La cooccurrence d'un acteur dans le texte, ainsi que la somme de la pondération totale de ses liaisons avec d'autres acteurs, permet de déterminer son importance et son positionnement dans le réseau. Cette phase de collecte de données implique la récupération de tous les documents et textes disponibles dans le corpus d'étude, en s'appuyant sur ceux accessibles sur le site internet du cabinet d'architecture. Tous les documents ont été lus, résumés, saisis et annotés dans un seul fichier au format texte, afin de constituer une base pour l'identification des acteurs clés. Par la suite, une phase de nettoyage et de formatage des données a été mise en place pour créer une version finale d'un fichier compatible avec le logiciel « Vosviewer », qui a servi de base pour le compte rendu dans la section des résultats décrivant le réseau d'acteurs sous-jacent. Nous résumons les étapes procédurales de la méthodologie dans la Figure 3.

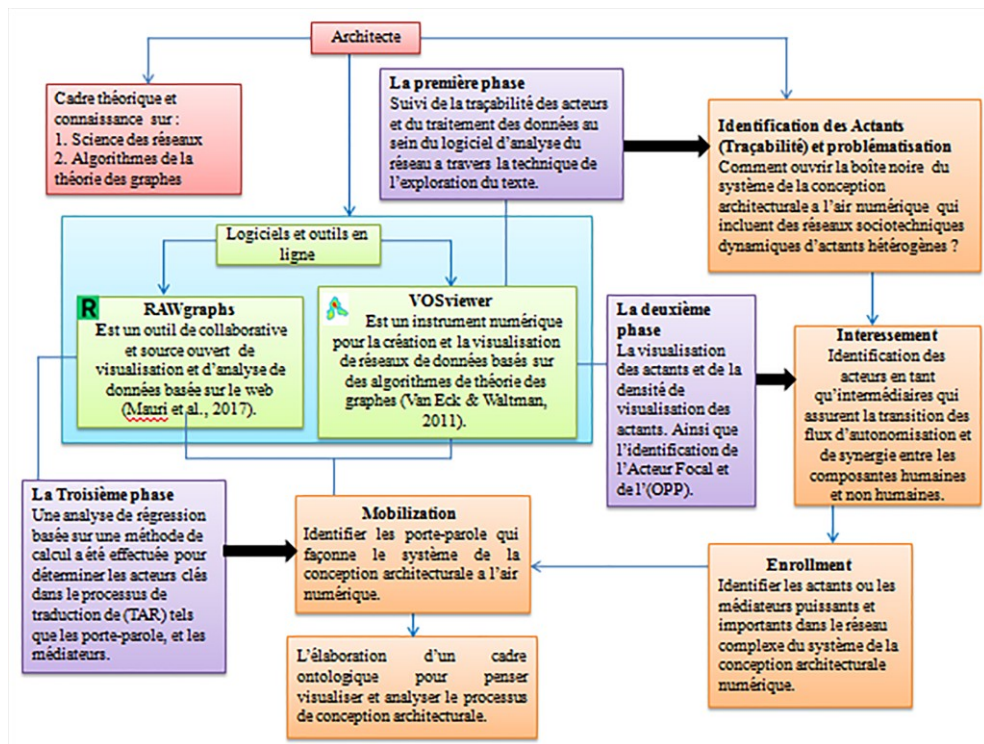


Fig. 3. Les étapes procédurales de la méthodologie adoptée. Source auteurs.

## 4 Étude de cas

En raison de la portée de la question et des objectifs de cette recherche, nous avons choisi un cas d'étude pertinent : un cabinet d'architecture qui intègre les outils de réalité virtuelle (RV) et de réalité augmentée (RA) dans sa pratique architecturale quotidienne.

### 4.1 Le cabinet d'architecture "Grey & Ivy"

Il s'agit d'un cabinet d'architecture basé au Canada, qui développe des technologies de réalité virtuelle (RV) et de réalité augmentée (RA) afin de permettre aux communautés de concevoir, d'enseigner et de construire selon leurs propres aspirations. Ce cabinet est composé de chercheurs qui se concentrent sur les quatre piliers de la durabilité : l'équilibre environnemental, économique, culturel et social des communautés. Ils s'intéressent particulièrement au logement, à l'éducation et à la formation, ainsi qu'à la manière dont ces éléments contribuent à la création de logements. Ce cabinet d'architecture explore des moyens technologiques pour démocratiser les connaissances et les compétences des concepteurs, des architectes, des travailleurs de la construction et des artisans, afin de leur permettre de mettre en œuvre le processus d'agentivité spatiale dans leur pratique réelle. Il organise des ateliers éducatifs et consultatifs de conception-construction, guidant les communautés de tout âge à travers le processus "Grey & Ivy". Ces ateliers aident les communautés à identifier leurs besoins, à imaginer une solution de conception, à développer cette idée par le dessin et la modélisation à l'aide de technologies (RV) et (RA), et finalement à donner vie à l'idée par un résultat entièrement construit [39].

## 5 Résultats et Discussion

Dans cette section, l'étape des résultats suit les étapes de la méthodologie procédurale.

### 5.1 Résultats de la première phase

Au cours de cette phase, il est crucial de compiler les données initiales pertinentes pour l'étude de cas, désignées comme « données d'entrée ». Cela est essentiel pour permettre la fonctionnalité du logiciel d'analyse de réseau utilisé dans cette étude et pour décrire avec précision la structure du réseau de notre cas d'étude. Cette étape correspond à la phase de problématisation, qui est un moment clé dans le processus de traduction décrit par la théorie de l'acteur-réseau (TAR) [34]. Cette phase consiste à « suivre la traçabilité des acteurs » ou à retracer l'influence des acteurs impliqués. Elle englobe la collecte, le traitement, l'organisation et le formatage des données relatives au cas d'étude. Ce processus s'apparente à l'option d'analyse et d'exploration de texte disponible dans le logiciel « VOSviewer », qui repose sur un algorithme de traitement de données.

### 5.2 Résultats de la deuxième phase

Dans la deuxième phase, nous nous appuyons sur les résultats précédents en entreprenant deux étapes essentielles. La première étape consiste à conceptualiser et à visualiser les réseaux d'acteurs en fonction de la cooccurrence et de la somme de la pondération totale des liens entre les acteurs identifiés lors de la première étape. Cela est réalisé grâce à diverses techniques de visualisation, notamment la visualisation de la disposition du réseau voir Figure 4 et la visualisation de la densité des acteurs, voir Figure 5.

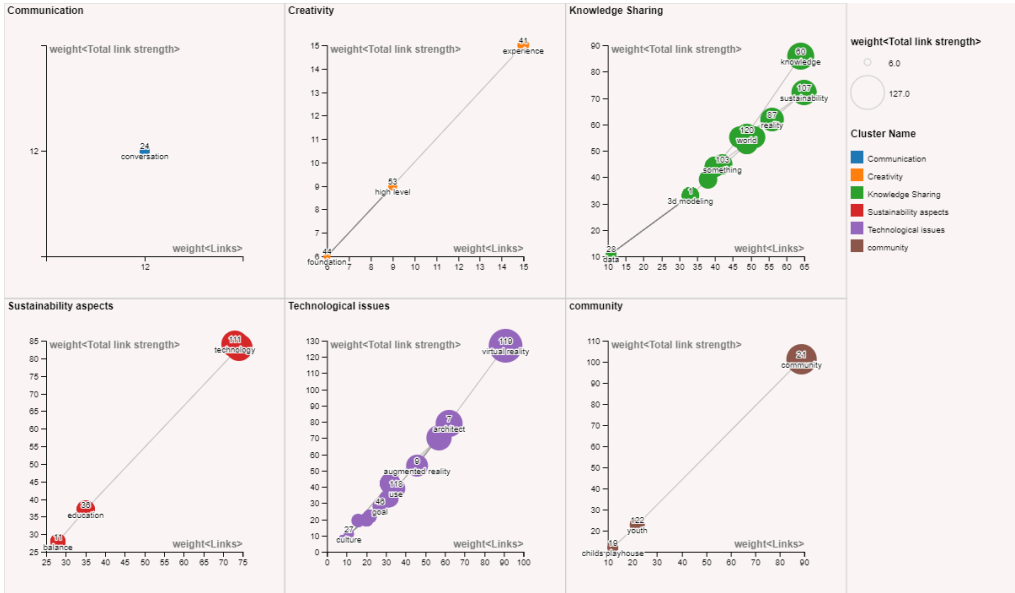
Cette étape offre un aperçu préliminaire de l'impact des objets technologiques dans le processus de conception architecturale à l'ère numérique. La carte de la théorie de l'acteur-réseau (TAR) révèle une structure de réseau hétérogène composée d'actants humains et non humains, représentés par des nœuds. La répartition des pondérations entre ces nœuds indique leur influence (agentivité) et leur cooccurrence au sein du réseau. Les graphiques de visualisation mettent en évidence les actants influents, selon leur pondération élevée, leur densité et leur degré de centralité dans le réseau. Ces actants sont cruciaux pour la structuration de l'ensemble du système ; tout dysfonctionnement parmi eux risque de perturber le réseau.

Dans ce réseau, l'architecte émerge comme un acteur dominant, affichant une pondération importante et une centralité d'intermédiarité élevée, conformément à la définition de Callon [34] d'un acteur focal qui harmonise des intérêts divers. De même, la réalité virtuelle se positionne comme un "Point de Passage Obligatoire" (OPP) essentiel pour aligner les intérêts des autres acteurs pendant le processus de traduction. La visualisation permet également de clarifier les acteurs clés qui influencent le réseau, notamment le concepteur, la connaissance mutuelle, la technologie, la durabilité et la modélisation, Atelier de consultation et la réalité augmentée.

Ces acteurs s'engagent activement et impliquent davantage d'autres acteurs dans le processus de la conception architecturale à l'ère numérique. Selon Latour [31], ce sont des médiateurs qui influencent les actions d'autres acteurs, conduisant souvent à des résultats à la fois attendus et inattendus. Cette étape s'aligne sur le moment d'intéressement du processus de traduction de la théorie de l'acteur-réseau (TAR), mettant l'accent sur la nécessité de persuader les alliés potentiels de collaborer [40]. Dans l'ensemble, cette étape



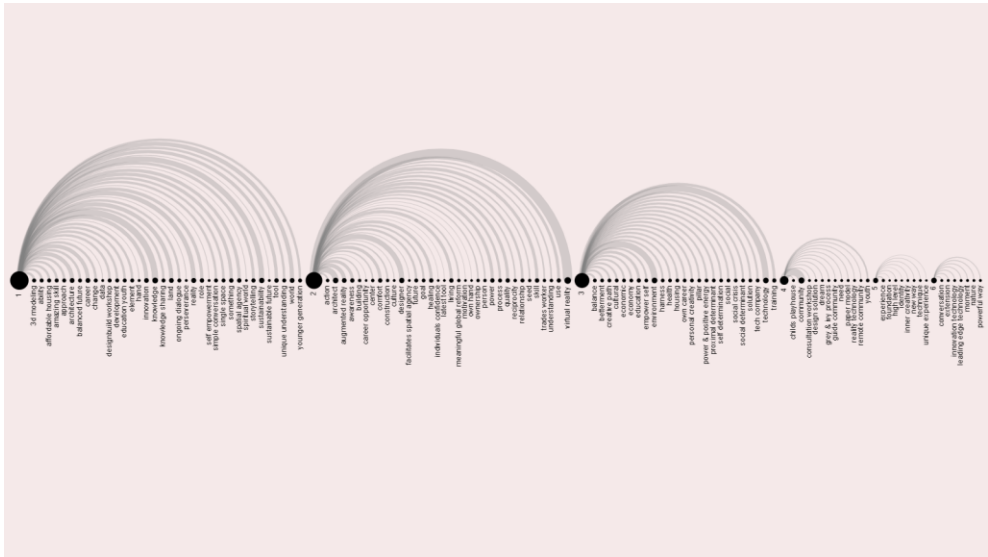




**Fig. 6.** Des graphes de corrélation entre les différents acteurs au sein de chaque groupe.

Au sein du système du processus de conception architecturale numérique de notre cas d'étude, différents médiateurs jouent un rôle essentiel pour faciliter la communication et le progrès. Selon Latour [31], les médiateurs sont des entités qui modifient et ajustent les actions pendant la phase d'enrôlement du processus de traduction. Leur identification repose sur la somme de pondération totale des liens de liaison entre les actants hétérogènes au sein d'un même groupe ou sous-système, avec cette pondération totale pour chaque acteur représentée par une densité de couleur variable dans chaque sous-système, voir Figure 9.

Parmi les principaux médiateurs, on trouve la modélisation (3D) et les outils dans le sous-système de connaissance mutuelle ; la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) dans le sous-système des aspects technologiques ; la technologie dans le sous-système des aspects de durabilité ; la communauté dans le sous-système communautaire ; la technique dans le sous-système de créativité ; ainsi que les technologies de pointe et d'innovation dans le sous-système de communication. Ces résultats indiquent que le système de conception architecturale à l'ère numérique a été obtenu et façonné grâce à une répartition équilibrée de l'agentivité entre les entités non-humaines, mettant l'accent sur l'utilisation efficace des solutions technologiques actives disponibles, qui facilitent le transfert de données, le partage de connaissances et la communication entre les intervenants dans le processus de conception.



**Fig. 7.** Un graph linéaire de la (TAR) représente la répartition des médiateurs dans les six groupes.

## 5.4 Les limites de la recherche

Malgré des résultats prometteurs, cette étude présente certaines limites. La portée de la recherche s'est limitée à l'analyse de la littérature existante et à une étude de cas, ce qui peut ne pas saisir pleinement les complexités et les nuances du monde réel concernant l'intégration des technologies de réalité virtuelle (RV) et de réalité augmentée (RA) dans la pratique architecturale. De plus, l'évolution rapide de ces technologies pose un défi, car les résultats peuvent rapidement devenir obsolètes. L'étude s'est également concentrée principalement sur les aspects technologiques et théoriques, avec une attention limitée portée aux obstacles économiques et sociaux qui pourraient influencer l'adoption généralisée de ces technologies.

## 5.5 Implications et Recommandations

### 5.5.1 Implications pour la pratique architecturale

1- Pratiques collaboratives améliorées : l'intégration des technologies (RV) et la (RA) facilite des processus de conception plus collaboratifs et participatifs. Les architectes peuvent impliquer plus efficacement les clients et les parties prenantes, ce qui permet d'élaborer des conceptions qui répondent mieux aux besoins et aux attentes des utilisateurs. Amélioration de la précision et de l'efficacité de la conception : ces technologies permettent aux architectes de visualiser, manipuler et évaluer les conceptions en temps réel, améliorant ainsi la précision et l'efficacité. Cela peut conduire à une prise de décision plus éclairée et à une réduction des erreurs de conception coûteuses.

2- Conception centrée sur l'utilisateur : en permettant aux utilisateurs de découvrir virtuellement les espaces, ces technologies favorisent une approche de la conception plus centrée sur l'utilisateur. Les architectes peuvent recueillir les précieux commentaires des utilisateurs pendant la phase de conception, ce qui permet de s'assurer que le produit final s'aligne plus étroitement sur les préférences et les exigences des utilisateurs.

## 6 Conclusion

L'avènement de l'ère numérique a profondément transformé la pratique architecturale, marquant le début d'une période où les technologies de réalité virtuelle (RV) et de réalité augmentée (RA) sont désormais intégrées au processus de conception. Cette recherche met en lumière le rôle central de ces technologies en tant qu'actants actifs au sein des réseaux sociotechniques qui sous-tendent l'architecture contemporaine. En s'appuyant sur le cadre de la théorie de l'acteur-réseau (TAR), nous avons analysé les changements ontologiques qui ont transformé les objets technologiques de simples outils en acteurs clés de l'écosystème de la conception architecturale.

Les résultats soulignent un changement fondamental dans le processus de conception, qui s'éloigne des méthodologies traditionnelles et linéaires au profit d'une approche plus dynamique, interactive et collaborative. La RV, la RA et la réalité mixte non seulement renforcent l'agentivité spatiale des architectes et des concepteurs, mais permettent également aux utilisateurs de s'engager et d'explorer les espaces architecturaux de manière sans précédent. Cette interaction améliorée favorise une compréhension approfondie de la dynamique spatiale et des besoins des utilisateurs, menant ainsi à des résultats de conception plus éclairés et raffinés.

Les implications de ces résultats dépassent les avancées théoriques, offrant des avantages pratiques pour la pratique architecturale et l'élaboration de politiques. En intégrant ces technologies, les architectes peuvent atteindre une plus grande précision, efficacité et satisfaction de l'utilisateur dans leurs conceptions. De plus, l'établissement de normes et de lignes directrices, ainsi que des programmes d'éducation et de formation ciblée, garantiront l'intégration éthique et efficace de la RV et de la RA dans la profession. Les technologies de RV et de RA représentent un changement de paradigme dans la pratique architecturale, transformant le processus de conception en une entreprise plus holistique, participative et centrée sur l'utilisateur. Alors que les architectes et les concepteurs naviguent dans cette révolution numérique, ils doivent adopter ces outils non seulement comme des avancées technologiques, mais aussi comme des éléments fondamentaux d'une nouvelle ontologie architecturale.

Les connaissances acquises dans le cadre de cette recherche constituent une base solide pour l'évolution continue de la pratique architecturale à l'ère numérique, guidant les praticiens vers des solutions de conception plus innovantes, réactives et durables. Cependant, la portée de cette étude, qui se limite à la littérature existante et aux études de cas, ainsi que l'évolution rapide de ces technologies, présente des limites notables. Les recherches futures devraient se concentrer sur les impacts à long terme, les obstacles économiques et sociaux, ainsi que sur l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) et de l'apprentissage automatique pour améliorer encore les capacités de ces technologies. En s'attaquant à ces domaines, le secteur de l'architecture pourra tirer pleinement parti des technologies de RV et de RA pour offrir des solutions de conception plus innovantes, réactives et durables à l'ère numérique.

## References

- F. Zare, K. Bazrafkan, H. Irani Behbahani, B. Mansouri, Actor-Network Theory Methodology in Architectural Co-design Process. *Journal of Architectural Thought*, 7(13), 21-33 (2023)

- H. Sadri, Introduction: Neo-liberalism and the End of the Profession of Architecture. *Neo-liberalism and the Architecture of the Post Professional Era*, 1-5 (2018)
- N. Awan, T. Schneider, J. Till, *Spatial agency: other ways of doing architecture*. Abingdon, Oxon [England] ; New York, NY: Routledge (2011)
- T. Schneider, J. Till, Beyond discourse: Notes on spatial agency. *Footprint*, 97–112 (2009)
- T. Venturini, Building on faults: How to represent controversies with digital methods. *Public understanding of science*, **21**(7), 796-812 (2012)
- P. Milgram, F. Kishino, A Taxonomy Of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE TRANSACTIONS On Information And Systems*, **77**(12), 1321–1329 (1994)
- P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi and F. Kishino, “Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum”, *Telem manipulator and Telepresence Technologies* (1995)
- M. R. Freitas, R. C .Ruschel, What Is Happening To Virtual And Augmented Reality Applied To Architecture. *In Proceedings Of The 18th International Conference On Computer-Aided Architectural Design Research In Asia*. Singapore, 407–416 (2013)
- M. A. Schnabel, T. Kvan, E. Kruijff, D. Donath, The first virtual environment design studio. *In 19th eCAADe Conference Proceedings*. Helsinki, Finland, 394–400 (2001)
- R. Azuma, A survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, **6**(5), 355–385 (1997)
- O. Ergün, Ş. Akin, İ. G. Dino, E. Surer, Architectural design in virtual reality and mixed reality environments: A comparative analysis. *In 2019 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (pp. 914-915). IEEE (2019)
- K. Ahn, D. S. Ko, S. H. Gim, A study on the architecture of mixed reality application for architectural design collaboration. *In Applied Computing and Information Technology* (pp. 48-61). Springer International Publishing (2019)
- P. Fuchs, G. Moreau, P. Guitton, (Eds.) *Virtual Reality: Concepts and Technologies*. London, UK: CRC Press, Taylor & Francis (2011)
- T. Dorta, Implementing and Assessing the Hybrid Ideation Space: A Cognitive Artefact for Conceptual Design. *International Journal of Design Sciences and Technology*, **14**(2), 119-134 (2007)
- T. Dorta, E. Pérez, A. Lesage, The Ideation Gap: Hybrid Tools, Design Flow And Practice. *Design Studies*, **29**(2), 121–141 (2008)
- L.F .Gül, S.M. Halici, Collaborative Design with Mobile Augmented Reality. *In 34th eCAADe Conference Proceedings*. Oulu, Finland 493–500 (2016)

- H. Seichter, Benchworks Augmented Reality Urban Design. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*. Seoul; Korea, 937–946 (2004)
- G. Schubert, B. Strobel, F. Petzold, Tangible Mixed Reality, In *Proceedings of the 21st International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*. Melbourne, Australia, 333– 342 (2016)
- A. Giddens. *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*. Univ of California Press. (1984)
- C.Lorne. Spatial agency and practising architecture beyond buildings. *Social & Cultural Geography*, 18(2), 268-287. (2017).<https://doi.org/10.1080/14649365.2016.117428>
- A. Strickland. *The active agency of learning spaces. Learning Space Design in Higher Education*. Oxfordshire: LIBRI Publishing, 209-224. (2014)
- [www.spatialagency.net](http://www.spatialagency.net)
- G. Cataldi, R. Abdelhamid, & F. SELVA. The town of Ghardaia in M'zab, Algeria: between tradition and modernity. *Traditional Dwellings and Settlements Review*, 63-74. (1996)
- T.Schneider, & J.Till. Beyond Discourse : Notes on Spatial Agency. *Footprint*, 97-112. (2009) <https://doi.org/10.59490/footprint.3.1.702>
- H. Sadri. Introduction: Neo-liberalism and the End of the Profession of Architecture. *Neo-liberalism and the Architecture of the Post Professional Era*, 1-5. (2018)
- M.Hammond. Spatial Agency: Creating New Opportunities for Sharing and Collaboration in Older People's Cohousing. *Urban Science*, 2(3), 64. (2018) <https://doi.org/10.3390/urbansci2030064>
- B. Latour. *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard university press. (1987)
- J.Law. On Sociology and STS. *Sociological Review*, 56(4).623-649. (2008). <https://doi.org/10.1111/j.1467-954x.2008.00808.x>
- B. Latour. On Recalling Ant. *The Sociological Review*, 47(1\_suppl), 15–25. (1999). [https://doi.org/10.1111/j.1467-](https://doi.org/10.1111/j.1467-954x.1984.tb00113.x)
- T. Fenwick & R.Edwards. *Actor-Network Theory in Education*. Routledge eBooks. (2010) <https://doi.org/10.4324/9780203849088>
- B. Latour. *Reassembling the Social*. in Oxford eBooks University Press. (2005) <https://doi.org/10.1093/oso/9780199256044.001>.
- C. Mclean & J. Hassard. Symmetrical absence/symmetrical absurdity: critical notes on the production of actor-network accounts. *J Manage Stud*. 41:493–519. . (2004).
- KM. Cresswell, A.Worth, A. Sheikh. Actor-Network Theory and its role in understanding the implementation of information technology developments in healthcare. *Medical Informatics and Decision Making*. BMC. 10:67. (2010)
- M.Callon. Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St Brieuc Bay. *The Sociological Review*, 32(1\_suppl), 196–233. (1984). [https://doi.org/10.1111/j.1467-](https://doi.org/10.1111/j.1467-954x.1984.tb00113.x)  
[www.VOSviewer.com](http://www.VOSviewer.com).
- M. Mauri, T. Elli, G. Caviglia, G. Uboldi & M. Azzi . RAWGraphs: A Visualisation Platform to Create Open Outputs. In *Proceedings of the 12th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter* (p. 28:1–28:5). New York, NY, USA: ACM. (2017) <https://doi.org/10.1145/3125571.3125585>
- N. J.Van Eck & L.Waltman. Text mining and visualization using VOSviewer. *arXiv preprint arXiv:1109.2058*. (2011). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1109.2058>

- N. J. Van Eck & L. Waltman. Visualizing bibliometric networks. In *Measuring scholarly impact: Methods and practice* (pp. 285-320). Cham: Springer International Publishing. (2014). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13)  
[www.greandivvy.ca](http://www.greandivvy.ca)
- A. B. Prado & M. C. C. Baranauskas. Addressing structural and dynamic features of scientific social networks through the lens of Actor-Network Theory. *Social Network Analysis and Mining*, 3, 1263-1276. (2013)
- G. P. Hodgkinson & W. H. Starbuck. (Eds.). *The Oxford handbook of organizational decision making*. OUP UK. (2008)
- F. Liu & S. Maitlis. Emotional dynamics and strategizing processes: A study of strategic conversations in top team meetings. *Journal of management studies*, 51(2), 202-234. (2014)
- A. Bilodeau, M. Galarneau, C. Lefebvre & L. Potvin. Linking process and effects of intersectoral action on local neighbourhoods: systemic modelling based on actor-network-theory. *Sociology of Health & Illness*, 41(1), 165-179 (1) (PDF) The role of Web 2.0 in collaborative design: an ANT perspective. (2019).