
Questionnement de la synchronisation de l'information par les usages logiciels (BIM) en conception architecturale collaborative

Xaviera Calixte

Allée de la Découverte 9 - Liège - Belgique
xaviera.calixte@uliege.be

Samia Ben Rajeb

Avenue Franklin Roosevelt 5 – Bruxelles - Belgique
Samia.Ben.Rajeb@ulb.ac.be

Guillaume Gronier

Avenue des Hauts-Fourneaux 5 - Esch-sur-Alzette - Luxembourg
guillaume.gronier@list.lu

Pierre Leclercq

Allée de la Découverte 9 - Liège - Belgique
pierre.leclercq@uliege.be

Catégorie de soumission : communication longue

RÉSUMÉ

L'emploi des modèles BIM tente de répondre à de nouveaux besoins auxquels le domaine de la construction doit se prémunir : la complexité des projets, la complémentarité des compétences, la collecte d'information tout au long du processus, etc. La démarche BIM instrumentée de logiciels associés permet à l'ensemble des acteurs de travailler autour d'une maquette commune virtuelle rassemblant l'ensemble des informations propres au projet. Aujourd'hui, cette approche est en plein essor et les modes de conception se voient s'adapter à ce contexte particulier. Cette recherche questionne l'impact de l'usage de ces logiciels BIM sur les méthodes de travail et sur la synchronisation de l'information entre les acteurs d'un projet. Pour répondre à nos questions, nous avons mené une observation in situ de 3 mois dans une agence d'architecture, nous permettant d'analyser l'usage de ces logiciels dans un contexte réel d'appel de concours. Cet article résume les premiers constats autour de cette réflexion.

MOTS-CLÉS

Activité collective, collaboration, synchronisation de l'information, conception architecturale, logiciels BIM

1 INTRODUCTION

Dans le secteur de la construction, un système numérique de partage de l'information est aujourd'hui développé pour soutenir le déploiement de la dynamique innovante, appelée BIM. Cette approche se développe selon deux axes (Celnik, Lebègue, & Nagy, 2014) :

- *Building Information Modeling*, axé sur un processus de modélisation numérique qui rassemble l'ensemble des technologies de modélisation de l'information (formelle, fonctionnelle, structurelle) pour qualifier les spécificités, les contraintes et performances du bâtiment.
- *Building Information Management*, axé sur la gestion de l'information et la coordination des données sur base de principes collaboratifs entre les différents acteurs du projet.

Cette approche est en plein essor dans le domaine du bâtiment et implique l'ensemble des acteurs du projet (architectes, ingénieurs, entrepreneurs, la maîtrise d'ouvrage, exploitants, etc.) dans une dynamique coopérative pour la centralisation de l'information, depuis la conception initiale du projet jusqu'à la réalisation de l'ouvrage et son exploitation.

Sur le même principe qu'un « Google-Doc » qui permet de composer et de partager un texte en temps réel entre rédacteurs connectés, les logiciels de collaboration BIM permettent de créer et de distribuer de l'information bâtiment à travers des maquettes tridimensionnelles porteuses de spécifications techniques encodées. Ainsi, la perte d'information autour du projet dans le temps est également limitée. Différents logiciels tendent à supporter la collaboration en rassemblant et confrontant les productions des différentes disciplines liées au projet dans un modèle numérique supposé unique. Une articulation classique consiste à assembler les volumes constituant les espaces, les éléments de structure, les réseaux de canalisation et les circuits électriques dans un seul et même modèle 3D numérique. Nous parlerons ici d'interopérabilité entre les différents éléments qui constituent la maquette BIM centralisée.

De nombreux avantages ont déjà été observés dans les projets adoptant une démarche BIM (ACE, Alberta BIM Centre of Excellence, 2011) : en favorisant une synchronisation de l'information entre des acteurs pluridisciplinaires dès les premières phases du projet, l'utilisation de ces nouvelles technologies (outils et logiciels) est ainsi présentée comme une solution pour répondre aux exigences de plus en plus complexes d'un travail collaboratif pour la conception et la réalisation de projets de construction contemporains (NSCSC, 2010).

Néanmoins, l'usage de ces fonctionnalités collaboratives questionne les entreprises sur leur manière de travailler et d'organiser leurs équipes dès les premières phases de conception. Pour répondre à cette dynamique BIM, de nouvelles structures de travail s'organisent autour de ces outils numériques provoquant un changement des modes de fonctionnement individuel et collectif qui mérite d'être étudié. Notre étude porte ainsi sur l'usage des outils mis en œuvre au sein d'équipes de conception pluridisciplinaires pour mieux comprendre les moyens et les échanges d'information opérés entre les acteurs. Dans cet article, nous nous focalisons sur l'usage particulier des logiciels BIM et leur capacité à synchroniser de grandes quantités d'information sous la forme de maquette numérique partagée.

2 ETAT DE L'ART

Dans le domaine de l'ergonomie, il existe un grand nombre d'études autour de la notion de « conception collective ». Dans cet article, nous évoquerons quelques-unes d'entre elles pour nous accorder sur certaines définitions et énumérer différents modes de travail collectif spécifiques à la conception.

2.1 Travail collectif et modes de conception

Le travail collectif, généralement opposé à l'activité individuelle, définit la manière dont plusieurs acteurs (pluridisciplinaires) mènent et organisent une série de tâches pour atteindre un objectif commun (Caroly & Barcellini, 2013). Il peut prendre plusieurs formes selon le champ disciplinaire dans lequel il est questionné.

Ainsi, pour spécifier ces différentes formes de travail collectif dans le cadre de cet article, nous nous focaliserons principalement sur les aspects cognitifs et opératoires de l'action, sans chercher à analyser l'influence de certains facteurs, tels que par exemple le rôle social ou la hiérarchie au sein du groupe. En effet, il existe différents modes qui spécifient la manière dont les actions sont menées collectivement. En s'alignant aux définitions données par des auteurs tels que Darses et Falzon (1996), Visser (2002), Caroly et Weill-Fassina (2007) ou Safin (2011), nous partons du postulat que :

- l'activité de conception *collaborative* (ou *co-conception*) représente une situation rassemblant divers concepteurs qui interagissent autour d'un même projet architectural et qui collaborent ensemble sur les mêmes tâches. Les tâches de chacun sont difficilement dissociables et les décisions sont conjointes et directement intégrées dans la conception.

- l'activité de conception *coopérative* (ou *conception distribuée*), représente une situation qui rassemble aussi divers acteurs travaillant sur des tâches différentes réparties pour la conception d'un même projet. Cette situation impose néanmoins des moments où les résultats de ces différentes tâches sont rassemblés de manière cohérente et de façon à valider ou non le travail des différents protagonistes.

Partant de ces définitions, le processus de conception collectif passe, selon nous, autant par des moments où les concepteurs travaillent seuls, de manière parallèle (conception coopérative, ou *conception distribuée*), que par des moments où ils collaborent ensemble autour des mêmes tâches (conception collaborative ou *co-conception* (Ben Rajeb, 2012)).

Chacun de ces moments supporte différents types de synchronisation permettent de supporter ces synchronisations (Darses & Falzon, 1996 ; Conein, 2004 ; Beguin, 2004) :

- Lors de la co-conception, c'est la synchronisation cognitive qui est privilégiée. Elle a pour but d'établir un contexte de connaissances communes aux groupes. L'état d'avancement du projet est alors connu par tous (solutions, hypothèses de départ, intentions, etc.), ainsi que toutes les valeurs propres à l'équipe (les priorités, les procédures à suivre, les règles de composition, etc.) ;
- Lors d'une conception distribuée, c'est la synchronisation opératoire relative à la répartition des tâches qui est mise en œuvre. Elle permet aux membres de l'équipe de se coordonner sur les actions à mener en se répartissant les tâches et en y déterminant un ordre.

Ces deux modalités de synchronisation vont être étudiées de manière plus précise dans le cadre de notre étude et observation in-situ.

2.2 Activité médiatisée et espace de travail

L'activité collective en conception impose de plus en plus le recours à des instruments de partage sans quoi elle ne pourrait exister (Boujut, 2000). Ces instruments de partage visent à faciliter les échanges. Or, l'émergence de nouveaux médias tel que le BIM contribue à privilégier certains modes de travail et types de synchronisation. L'analyse des relations homme-machine dans la conception instrumentée nous permet de comprendre l'activité au travers les médias utilisés (Folcher & Rabardel, 2004).

Dans sa matrice espace-temps, Johansen (1988) a caractérisé l'activité collective et les outils utilisés selon deux axes : d'une part celui de la temporalité, séparant les actions menées simultanément ou non, et, d'autre part, selon l'axe du lieu, distinguant l'action menée en coprésence de celles menées à distance. Néanmoins, avec les moyens numériques actuels, ces deux axes de travail sont aujourd'hui l'objet de requalification. En effet, Fischer et Fousse (2002) ont étudié la substitution des frontières physiques en contexte numérique. L'espace de travail n'est alors plus matérialisé par un espace physique mais comporte également une dimension virtuelle qui peut ou non être partagée. Feki et Ben Rajeb (2014) ont développé une réflexion sur les configurations de ce type d'espace de travail. Distinguant l'espace de travail partagé (WE-Space) des environnements intermédiaires que sont l'espace de travail personnel (I-Space) et l'aparté (Space-Between) (Ben Rajeb & Leclercq, 2015).

Dans notre étude, nous exploiterons cette notion d'espace de travail qui nous permet dans un contexte de conception médiatisée numérique d'analyser les modes de travail collectif.

3 PROBLEMATIQUE

En posant le postulat que l'artéfact virtuel devient lui-même partie intégrante des espaces de travail personnels et partagé(s), nous questionnons ici ces notions de synchronicité et d'espace de travail dans le contexte BIM où l'environnement partagé est aussi constitué d'un modèle numérique spatial.

Pour structurer notre réflexion, la suite de l'article décrit la méthode d'observation menée, ainsi que les modes de travail rencontrés dans ce contexte BIM. La discussion apportera, d'une part, les premières analyses pour comprendre comment l'information est partagée entre les différents acteurs (synchronisation cognitives) et, d'autre part, les apports et limites de l'emploi de ces médias dans ce

contexte d'observation. Pour illustrer la discussion, nous détaillerons plus particulièrement les usages réels entre deux concepteurs associés sur des tâches liées. Ce choix nous permet d'expliquer plus facilement les échanges entre les acteurs. De plus, dans un souci de clarté, nous parlerons :

- d' « I-Space » lorsque les acteurs travailleront sur un espace de travail personnel/individuel ;
- de « We-Space » pour un espace partagé.

Bien que nous n'intégrons pas l'entièreté de l'équipe concernée par le projet de conception, le « We-Space » présenté dans la suite de l'article n'est pas pour autant un « Space-Between » car la maquette numérique est bel et bien partagée par l'ensemble de l'équipe via le Cloud (tout système de partage et de stockage de fichier en ligne), et non exclusive à ces deux seuls acteurs.

4 MILIEU D'IMPLANTATION ET METHODE

Notre cadre d'observation est une agence française d'architecture et d'ingénierie d'envergure (environ 600 collaborateurs) située à Paris, au sein de laquelle nous avons pu observer in situ pendant 3 mois, l'activité collaborative d'une équipe de concepteurs en phase concours. Ce contexte particulier de concours est intéressant dans notre étude car il implique des délais courts, un programme dense et des exigences techniques à maîtriser. Les acteurs de projet doivent ainsi être pluridisciplinaire pour répondre aux différentes contraintes et se coordonner pour être dans les temps de la soumission de l'offre.

Pour analyser son activité, nous avons utilisé une méthode spécifique de collecte des données, basée sur la plateforme Web SysTrac¹ (Calixte, Ben Rajeb, & Leclercq, 2018). Cette plateforme nous a permis de tracer l'usage de chaque outil pour chaque acteur. A chaque fois qu'un acteur utilise un outil, une série de données est encodée pour en spécifier l'usage :

- des données factuelles, pour identifier l'outil et quel(s) acteur(s) l'utilise(nt);
- des données temporelles, pour positionner l'activité dans le temps, ainsi que la durée de celle-ci;
- des données opérationnelles pour qualifier l'action à laquelle l'usage de l'outil répond.

Cette immersion de longue durée nous a permis d'observer des usages réguliers de logiciels BIM au cœur du processus de conception. Le logiciel choisi par cette agence pour modéliser le projet via une approche BIM est Revit.

5 RESULTATS

L'observation nous a principalement révélé que, sur base de la maquette numérique collective, les acteurs travaillent de manière individuelle à partir d'un découpage en zones. Les actions qui y sont menées sont alors synchrones mais portées sur des environnements de travail distincts liés entre eux (fig.1). Autrement dit, le logiciel leur permet de travailler en I-Space sur une partie de la maquette partagée, le travail étant numériquement lié et rassemblé par une synchronisation de ces parties.

L'usage de l'outil semble également faciliter la conception distribuée synchrone, c'est-à-dire lorsque les tâches sont menées en parallèle au même moment. En effet, grâce à quelques opérations logicielles, l'assemblage des productions individuelles dans un même espace de travail y est facilité et encourage ainsi à opter pour une répartition des tâches entre les différents acteurs. Chacun est alors libre de partager son avancement et de s'informer de l'évolution du travail de ses collaborateurs en se référant à la maquette virtuelle partagée (Fig. 1).

Le travail collaboratif instrumenté sur la plateforme logicielle BIM s'opère donc grâce à la juxtaposition d'I-Spaces régulièrement transformés en WE-Space (de manière asynchrone et à distance) grâce à la capacité de rassembler et de partager les productions de chaque acteur dans un même environnement numérique.

¹ La plateforme SysTrac a été développée par d'un consortium de 3 laboratoires : le LUCID, Lab For User Cognition & Innovative Design (Université de Liège), le COLLAeB-BATir, Collaborative Design and Digital mediations in Architectural Engineering (Université Libre de Bruxelles) et le LIST, Luxembourg Institute of Science and Technology.

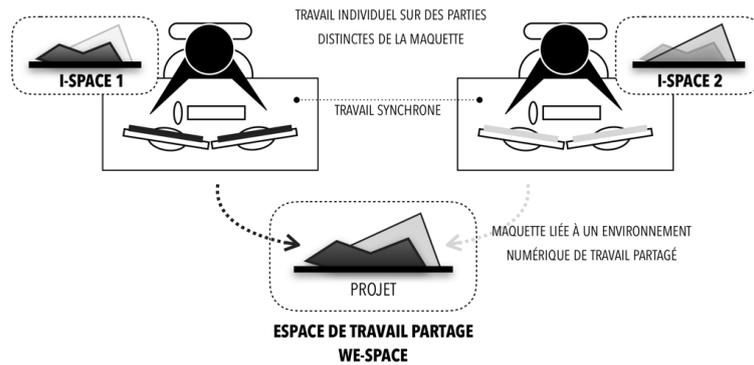


Fig. 1 : Articulation des espaces de travail entre deux acteurs.

6 DISCUSSION

Pour mieux comprendre ce type de résultat, nous proposons, d'une part, de discuter des fonctionnalités logicielles qui impactent le mode collaboratif entre ces deux concepteurs et, d'autre part, la synchronisation des échanges d'information.

6.1 La synchronisation cognitive et le partage de l'information

La capacité et la puissance des machines actuelles ne permettent pas d'interagir en temps réel directement sur la maquette 3D (WE-Space) entre les collaborateurs. Pour des raisons techniques, il n'est en effet pas encore possible de travailler à plusieurs instantanément dans l'environnement de travail partagé, à la manière d'un Google-doc. La synchronisation du travail, ici considérée comme l'implémentation des I-Spaces dans le WE-Space, s'effectue sur commande explicitée par l'acteur. Cette opération peut prendre plusieurs dizaines de minutes en fonction de la taille du fichier et la puissance des ordinateurs qui la supportent. Néanmoins, même répété, ce temps est minime si on le compare aux nombreuses semaines de conception. La conception n'est donc pas synchrone au sens « temps réel » de l'échange d'information. L'usage de l'outil garantit néanmoins une méthode de partage et de synchronisation de l'information entre les différents espaces de travail, sur un principe d'actualisation des maquettes, et accorde une certaine autonomie à l'acteur. Nous avons observé deux situations différentes où les maquettes sont actualisées et impactent le mode de travail :

- L'actualisation du WE-Space : chaque acteur peut partager son travail individuel à l'ensemble de l'équipe, c'est-à-dire implémenter son travail individuel (I-Space) à la maquette commune partagée, le WE-Space;
- L'actualisation du I-Space : chaque acteur peut s'informer de l'avancement du projet en actualisant son I-Space avec de nouvelles informations présentes dans le WE-Space.

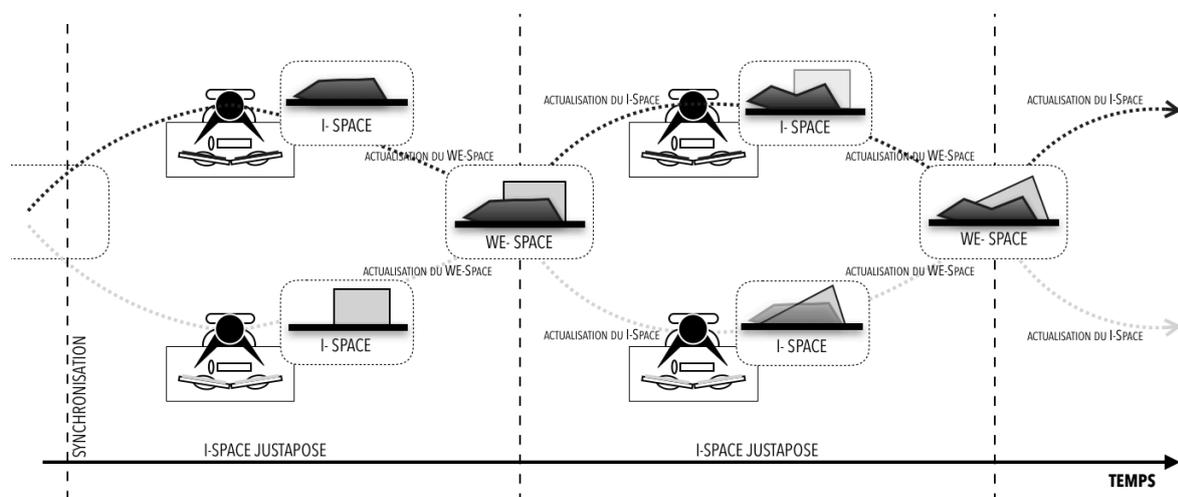


Fig.2 : Articulation de la synchronisation de l'information au cours du temps.

Le schéma ci-dessus (Fig.2) illustre ces deux modes d'échanges d'information. Notre présentation reste simplifiée pour faciliter la compréhension de l'articulation des échanges. Ceux-ci peuvent en effet être opérés de manière autonome dans des phases de synchronisations individuelles (là où elles sont représentées sous forme de synchronisation simultanée dans la figure 1). De ce fait, la garantie du partage de l'information repose en grande partie sur l'organisation du groupe et sur la coordination de ces acteurs.

En effet, le logiciel offre un moyen de synchronisation de l'information autour d'un même espace partagé. Néanmoins, le besoin d'apporter et de trouver certaines informations liées à cette maquette dépend de l'articulation et de la nature des tâches à mener. En d'autres termes, la répartition des tâches entre les acteurs, ne peut se dérouler que sur base d'un découpage réfléchi de la maquette (car les informations qui y seront jointes doivent s'intégrer entre elles) et sur la rigueur de la synchronisation pour permettre à certaines tâches de disposer des informations nécessaires pour être exécutées.

Pour ce faire l'équipe met en place une série de règles pour actualiser la maquette : synchroniser obligatoirement les travaux individuels menés par chacun dans la maquette partagée avant les réunions régulières d'équipe, synchroniser les maquettes au début de chaque journée, etc.

Cependant ce type de structure peut être trop rigide pour une activité qui nécessite plus d'interactions entre les actions distribuées. C'est pourquoi, dans certaines situations, la communication informelle est privilégiée. Ainsi la synchronisation cognitive (Darses & Falzon, 1996 ; Conein, 2004 ; Beguin, 2004) n'est pas exclusive à l'actualisation de l'espace de travail. L'observation in situ nous montre que le logiciel BIM ne doit pas être vu comme le moyen d'évincer toutes autres formes d'échanges d'information, d'une part parce que son efficacité repose sur une structure interne complexe de la maquette et sur un partage rigoureux du travail personnel et, d'autre part, parce que d'autres moyens d'échanges d'information restent au regard des acteurs plus efficaces et plus rapides que la synchronisation même de la maquette numérique.

6.2 Apports des fonctionnalités du logicielles pour la synchronisation

La complexité des bâtiments de grande ampleur nécessite que le modèle partagé contienne une grande quantité d'information. Que ce soit dans le paramétrage des éléments ou dans le découpage virtuel de la maquette 3D, celle-ci reste complexe et la structure de l'information y est primordiale. Dans cet article, nous ne parlons pas ici de l'interopérabilité, ni des protocoles BIM en tant que tels (car dépendants de la plateforme logicielle), mais plutôt de la manière dont les acteurs récupèrent l'information. Ainsi, la discussion menée porte principalement sur l'usage et l'influence de ce type de logiciel sur les différents modes de travail mis en place par l'équipe.

La navigation 3D de la maquette BIM ne permet pas de détecter aisément les modifications et les erreurs qui surviennent à la juxtaposition des productions individuelles dans l'espace partagé. Néanmoins, les logiciels BIM offrent la fonctionnalité de *clash detection* : cette fonctionnalité met en évidence l'incompatibilité géométrique des éléments rassemblés par les acteurs sur la maquette de partage. Cependant, l'emploi de l'outil favorise un mode de fonctionnement en "I-Spaces juxtaposés" et n'offre pas un espace de travail adéquat à la discussion pour trouver des solutions aux problèmes. En outre la maniabilité et l'opérabilité complexes des actions à mener sur la maquette, invitent chacun des acteurs à se retrouver dans un espace de collaboration et à utiliser d'autres outils pour supporter un mode de travail en co-conception.

Cette observation nous informe que le logiciel BIM, malgré sa capacité à synchroniser et à partager l'information, ne substitue pas le besoin de l'équipe de se retrouver en co-conception pour résoudre des problèmes (Conein, 2004 ; Beguin, 2004). Néanmoins, l'identification des problèmes dans le WE-Space virtuel amorce leur résolution avec des moyens simples et classiques (tels que l'annotation sur plans) et permet de palier à la complexité du modèle. Ainsi, le logiciel assiste indirectement la conception commune d'objets bâtiments complexes et garantit certaines performances attendues.

Dans notre observation, le mode de co-conception n'était pas simplement supporté par le WE-Space virtuel, mais a entraîné la création d'un deuxième espace commun physique utilisé dans l'*Open-space* qui héberge toute l'équipe de concepteurs concernés par cette observation. Dans cet *Open-space* y a été aménagé un tableau d'affichage qui structure les éléments propres au projet de conception.

La création de ce deuxième WE-Space (physique - Tableau d'affichage) est également une conséquence de la complexité globale de la maquette numérique partagée. Assurément, le *clash détection* permet de mettre en évidence certaines informations par rapport à d'autres, mais la navigation 3D et l'accumulation d'un nombre important d'information ne permettent pas une lecture globale du projet. Le tableau d'affichage commun a donc apporté des usages complémentaires manquants à la maquette virtuelle :

- La juxtaposition des travaux individuels
L'actualisation du WE-Space numérique rassemble le travail individuel de chaque acteur. Cependant, il est parfois préférable d'avoir une vision groupée mais non assemblée des différentes productions. C'est pourquoi, il était d'usage que certaines productions soient affichées côte à côte pour apporter une lecture éclatée du projet. L'affichage étant lié à une simple impression, il est également possible d'apporter à cet espace commun d'autres représentations que celles liées à la compatibilité du modèle BIM : on peut mettre en parallèle des croquis, des plannings, des volumétries d'autres logiciels, etc.
- L'historique du projet
La maquette numérique en constante évolution par le nombre conséquent de moments d'actualisation de l'espace virtuel commun, il est très difficile de garder en mémoire la progression du projet. Le tableau d'affichage permet de jouer également le rôle de l'historique du projet. Les images imprimées étant figées, elles témoignent d'un certain état d'avancement et peuvent être classées comme telles.
- Une facilité et une rapidité de lecture
L'image affichée est contrainte par l'angle de vue choisi par celui qui l'imprime. De ce fait, l'acteur favorise un sens de lecture au projet en illustrant certaines de ses caractéristiques. Ainsi, toute personne associée ou non au projet, est aidé à découvrir, selon certains points de vue préférentiels, le projet, ce qui 1/en facilite la lecture et 2/ expose une partie dont la particularité du choix dépend de la pertinence que lui donne l'acteur qui l'a imprimé. Cet affichage permettrait donc d'assister la synchronisation cognitive (Darses & Falzon, 1996) entre les différents protagonistes du projet.

7 CONCLUSION

S'inscrivant dans un contexte particulier de conception architecturale collective, dit BIM, notre réflexion porte sur l'impact de cette démarche innovante sur les modes de travail et la synchronisation cognitive et opérative entre les différents acteurs de projet. Apportant de nouvelles fonctionnalités, il est intéressant de comprendre comment ces outils impactent les méthodes de travail des concepteurs. Pour répondre à nos questionnements, nous avons mené une observation in situ pendant trois mois dans une agence d'architecture pour récupérer une série de données afin d'analyser l'usage réel de ces logiciels BIM.

Notre étude révèle que l'implémentation des données autour d'une même maquette virtuelle partagée favorise une distribution des tâches entre les acteurs. La capacité 1/ d'actualiser les espaces de travail individuels et 2/ d'implémenter le travail dans le WE-Space numérique apporte une grande autonomie au travail individuel et encourage la conception distribuée. Cependant, le partage de l'information repose sur l'organisation et la coordination rigoureuse entre les acteurs. Le logiciel ne permettant que de rassembler l'information, il ne garantit pas que celle-ci soit disponible au moment opportun pour la réalisation d'autres tâches. C'est pourquoi, pour palier à cette rigueur organisationnelle, il a été observé d'autres moyens plus informels et plus rapides jugés plus efficaces pour partager de l'information en instantanée. Néanmoins, l'utilisation d'une maquette numérique commune permet, à des instants clés, de récupérer et d'assembler toutes les informations produites autour du projet.

Pour pouvoir repérer dans ce modèle numérique assemblé et complexe les incompatibilités numériques,

les logiciels disposent d'une fonctionnalité *clash detection* qui permet de mettre en évidence ce type de problème. L'interopérabilité de l'outil n'offrant pas le moyen pour les acteurs de résoudre et d'échanger des solutions autour des difficultés rencontrées, on observe que les acteurs emploient d'autres moyens plus classiques pour supporter la co-conception (par exemple l'annotation sur plans imprimés). Néanmoins, l'outil BIM permet de gérer la complexité du projet en ciblant les problèmes à résoudre qui, de ce fait, peuvent être solutionnés de manière plus traditionnelle.

Dans notre étude, un autre constat a été décrit et analysé autour du besoin de créer un deuxième espace partagé qui rassemble des informations redondantes présentes dans la maquette numérique. Nous avons observé l'utilisation d'un tableau d'affichage des productions individuelles et collectives de toutes sortes. Cette espace répond à des besoins non assurés par les logiciels BIM, tels qu'une trace de l'historique du projet, un étalage non assemblé des productions individuelles, ainsi que l'intégration de productions non réalisées par le logiciel BIM (croquis, planning, synthèse du programme, etc.). De plus, le choix d'imprimer certains éléments sous un angle de vue prédéfini, fige le sens de lecture du projet et permet de mettre en évidence une série d'informations difficilement repérables dans la navigation 3D de la maquette numérique.

Notre analyse ne se base que sur des réflexions menées autour que d'une seule équipe de concepteurs, mais nous permet néanmoins de traiter des situations réelles. Cependant, il serait intéressant pour compléter nos résultats de mener des entretiens avec les différents acteurs pour mieux comprendre certains besoins et usages de ces logiciels et d'étendre cette observation dans d'autres contextes d'utilisation en agences d'architecture et/ou d'ingénierie.

8 REFERENCES

- ACE, Alberta BIM Centre of Excellence. (2011, novembre 30). *Building Information Modeling (BIM) 'Best Practices' Project Report*. Consulté le février 2019, sur <http://bim-civil.sites.olt.ubc.ca/files/2014/06/BIMBestPractices2011.pdf>
- Beguin, P. (2004). Conception, développement et monde commun. *Bulletin de Psychologie*. Paris: CNAM, Laboratoire d'Ergonomie.
- Ben Rajeb, S. (s.d.). *Moédilisation de la collaboration distante dans les pratiques de conception architecturale : caractérisation des opérations cognitives en conception collaborative instrumentée, Thèse de doctorat*.
- Ben Rajeb, S., & Leclercq, P. (2015). Instruments for Collective Design in a Professional Context: Digital Format or New Processes ? *ACHI, The Eighth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*.
- Boujut, J.-F. (2000). *Intégration produit-process en conception : organisation et outils*. rapport d'activité, programme PROSPER : Systèmes de Production, Stratégies, Conception, Gestion.
- Calixte, X., Ben Rajeb, S., & Leclercq, P. (2018). Traçabilité de l'usage des outils de conception dans un processus collaboratif. *SCAN'18*. Nantes.
- Caroly, S., & Barcellini, F. (2013). Le développement de l'activité collective. *Ergonomie Constructive* (pp. 33-46). Paris: PUF.
- Caroly, S., & Weill-Fassina, A. (2007). En quoi différentes approches de l'activité collective des relations de services interrogent la pluralité des modèles de l'activité en ergonomie? *Activités*. ARPACT.
- Celnik, O., Lebègue, E., & Nagy, G. (2014). *BIM et maquette numérique : pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris: Eryrolles et CSTB.
- Conein, B. (2004). Cognition distribuée, groupe social et technologie. *Réseaux*, 124, 53-79.
- Darses, F., & Falzon, P. (1996). La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. *Coopération et conception*. Toulouse: Octarès.
- Feki, A., & Ben Rajeb, S. (2014). Adaptabilité d'une situation de conception collaborative dans un espace augmenté. *01 DESIGN*.
- Fischer, G.-N., & Fousse, C. (2002). Espaces de travail et communication - Une lecture psychosociale. *Communication et organisation*.
- Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités : perspective instrumentale. *Ergonomie*.
- Johansen, R. (1988). *Groupware : Computersupport for business teams*. New-York: The Free Press.

- NSCSC, N. S. (2010). *Functional Information Technology Phase 1: Detailed Analysis*. Construction Engineering and Management Group de l'Université du Nouveau Brunswick.
- Safin, S. (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. Liège: Université de Liège.
- Visser, W. (2002). Conception individuelle et collective : Approche de l'ergonomie Cognitive. *Cognition et création : Explorations cognitives des processus de conception*, (pp. 311-327).