

AAP 04.15 – Accompagnement de maîtres d'ouvrage publics et privés pour l'utilisation du BIM et de la maquette numérique sur des ouvrages existants

Novembre 2018

Table des matières

Résumé exécutif	2
Introduction	4
1. Objectifs de l'appel à projets	4
2. Approche méthodologique.....	4
3. Chiffres-clés.....	5
4. Enjeux relatifs à l'intégration du BIM.....	5
Description de l'appel à projets et des travaux menés (aperçu des lauréats de l'appel à projet, contenu des projets et comparaison sur des critères définis, moyens mis en œuvre).....	7
5. Composition des lauréats.....	7
6. Objectifs.....	7
7. Type de bâtiment développé.....	8
8. Etapes du bâtiment où le BIM est intégré.....	9
9. Intégration et implications des parties prenantes	9
10. Technologies déployées	10
11. Mode de sauvegarde et de gestion des données et pérennisation des informations	11
Analyse de l'appel à projet.....	12
12. Coûts de déploiement	12
13. Intérêt perçu du BIM (coopération des acteurs / coûts des projets / etc.).....	12
14. Difficultés et leviers d'action	13
Conclusions et recommandations vis-à-vis de l'objet des appels à projet.....	15
15. Analyse financière de l'intégration du BIM	15
16. Succès de l'expérimentation	15
Conclusion générale	17

Résumé exécutif

Deux évolutions majeures de la transition numérique - le BIM et la maquette numérique - sont en train de modifier en profondeur le secteur du bâtiment, tant sur le plan technique qu'organisationnel. Le présent appel à projet avait pour objectif d'expérimenter le déploiement de la maquette numérique ainsi que des outils et méthodes de travail BIM sur les opérations de rénovation d'ouvrages existants. La grande **diversité des lauréats et des ouvrages rénovés** a permis de tester les innovations liées au BIM dans des contextes variés, et ainsi de **mieux comprendre ses atouts et ses limites**.

Les lauréats s'accordent sur les **nombreux avantages** offerts par les technologies de relevé 3D et de numérisation, de modélisation et de visualisation de la maquette du bâtiment existant et projet, de suivi de projet, de gestion du bâtiment. Ils soulignent également l'utilité de la convention BIM, de l'expert BIM et des plateformes d'échange collaborative qui favorisent grandement la coopération entre intervenants, à toutes les phases du projet. La maquette numérique sert de **référentiel commun et de support d'échange** entre parties prenantes tout au long de la vie d'un bâtiment. Ces changements organisationnels et techniques entraînent des gains de productivité et de qualité induits par une réduction des conflits, une compréhension plus précise du bâtiment, une collaboration plus efficace, une gestion plus rapide des données, et une exploitation plus intelligente des locaux.

Toutefois, ces avantages n'ont pas été systématiquement observés par les lauréats, pour deux raisons principales. D'une part, **certains gains ne pouvaient pas être observés** pendant la durée relativement courte de l'expérimentation. D'autre part, il est apparu que l'intégration du BIM aux opérations de rénovation a présenté des difficultés à plusieurs niveaux. Les outils, technologies et méthodologies BIM sont relativement **complexes et nouvelles** pour les acteurs du bâtiment. Leur appropriation par la maîtrise d'œuvre, la maîtrise d'ouvrage et les prestataires représente un **coût important**, en termes de **formation**, de **personnels**, d'acquisition **d'équipements et de logiciels**, et surtout de modification des **pratiques techniques et organisationnelles**. Les difficultés techniques telles que le **manque d'interopérabilité** entre les logiciels, les **imperfections logicielles** et la **nouveauté** relative de ceux-ci constituent autant d'obstacles que les acteurs ont dû apprendre à surmonter ou à accepter.

Néanmoins, il apparaît que les **barrières organisationnelles et humaines** étaient encore plus grandes. La formation des acteurs inexpérimentés aux aspects techniques et méthodologiques n'a pas toujours été suffisante. L'expérience du BIM ne s'acquiert pas instantanément, **elle s'accumule sur plusieurs opérations**. Le manque de **motivation et d'implication** de certains intervenants a souvent entravé la collaboration nécessaire à l'avancement du projet. Le BIM a également bouleversé la **durée et le phasage** des opérations de rénovation, compliquant ainsi la gestion des activités et l'équilibre financier des projets. Par ailleurs, **le coût substantiel d'intégration du BIM** implique que celui-ci n'est pour l'heure pas accessible à tous les acteurs du bâtiment, et qu'il n'est pas toujours pertinent sur certaines opérations de rénovation. Ce coût explique en partie le manque d'implication de certains intervenants, leur formation insuffisante et leur incapacité à trouver des solutions aux nombreuses difficultés techniques liées au BIM.

Par conséquent, il convient de s'interroger à la fois sur la **pertinence du BIM dans certains contextes** et sur les **leviers à actionner afin de faciliter l'appropriation du BIM** par les acteurs en difficulté. Actuellement, le coût d'intégration du BIM reste élevé du fait de sa nouveauté. Son déploiement sur des petites opérations de rénovations relativement simples et impliquant des acteurs du type TPE et PME aux moyens financiers, techniques et humains limités n'améliorera pas l'équilibre financier du projet. A l'inverse, la numérisation, la maquette numérique et les autres techniques BIM conviennent particulièrement aux grands projets techniquement complexes, pilotés par des maîtrises d'ouvrage et des maîtrises d'œuvre aux marges de manœuvre suffisantes.

Toutefois, si le coût d'appropriation du BIM diminue sensiblement dans les années à venir, il pourrait être généralisé à l'ensemble des opérations de rénovation et de gestion d'ouvrages existants. Les lauréats envisagent une **diminution du prix des équipements** et une **amélioration de la performance des outils BIM**, notamment en matière de fiabilité et d'interopérabilité des logiciels. Un **soutien plus fort des pouvoirs publics** permettrait d'accélérer ce processus ; la mise en service **d'outils accessibles financièrement et techniquement** tels que la plateforme KROQI en est un exemple. Par ailleurs, les efforts doivent également porter sur la **formation** des acteurs du bâtiment aux techniques et à la méthode de travail BIM.

L'accompagnement doit en particulier se concentrer sur les acteurs ayant un faible capacité d'acquisition du BIM. Enfin, la diffusion des bonnes pratiques organisationnelles et le rôle structurant des experts BIM doivent être encouragées.

Introduction

L'appel à projet du Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment a pour objectif global de **généraliser l'usage du numérique dans le secteur de la construction**. Le développement du BIM et de la maquette numérique constitue une évolution majeure – à la fois **technologique et organisationnelle** - qui bouleverse les méthodes de travail dans le bâtiment. Cette transition numérique représente une opportunité pour l'ensemble des acteurs de la construction **capables de se l'approprier**, car les outils et processus BIM permettent des gains importants en termes de productivité, de qualité de la conception et de respect des délais en phase conception et chantier. Ils facilitent également la gestion du patrimoine en phase utilisation du bâtiment. Ces bénéfices liés à l'utilisation du BIM et de la maquette numérique concernent autant les constructions nouvelles que les ouvrages existants.

Les opérations de rénovation du patrimoine existant effectuées en BIM ont pour particularité d'intégrer des **technologies de relevé via scanner 3D**, de **numérisation** et de **modélisation** du bâtiment permettant de produire une **maquette numérique fidèle de l'ouvrage à réhabiliter**. Le BIM peut ensuite être déployé pour faciliter la **conception du bâtiment** projet et **accompagner les travaux de rénovation** sur le chantier. Lors de ces phases, la maquette numérique constitue un outil partagé de visualisation de l'ouvrage ainsi qu'un support commun d'échange entre les intervenants. Une fois l'ouvrage rénové, le BIM et la maquette numérique peuvent être utilisés dans le cadre de **l'exploitation et de la maintenance du bâtiment**.

L'utilisation des outils BIM et de la maquette numérique est un **développement récent dans ce secteur ; il convient donc d'expérimenter son déploiement en conditions réelles sur des opérations pilotes**. L'appel à projets « accompagnement de maîtres d'ouvrage publics et privés pour l'utilisation du BIM et de la maquette numérique sur des ouvrages existants » concerne l'ensemble des étapes décrites ci-dessus sur des opérations de rénovation de l'existant, de la phase étude à la phase gestion, et s'adresse aux maîtrises d'ouvrage publiques et privées ainsi qu'aux constructeurs de maisons individuelles.

1. Objectifs de l'appel à projets

Le présent appel à projets (AAP) a pour objectif **d'expérimenter l'usage de la maquette numérique et du BIM sur des opérations de rénovation ou de gestion du patrimoine existant**. Contrairement à d'autres AAP, celui-ci ne précise pas d'objectifs spécifiques pour les porteurs de projet. Il met toutefois l'accent sur le recours à des **techniques nouvelles** – telles que la numérisation par scanner 3D, la restitution de nuages de points, la modélisation du bâtiment, la récupération et l'intégration de données diverses dans la maquette ou encore l'échange et la sauvegarde de données - qui soulèvent de nombreuses interrogations. L'utilisation **d'outils** comme le scanner 3D, les visionneuses de nuages de point ou encore des applications smartphone appropriées est également encouragée. Par ailleurs, le développement du processus BIM entraîne des modifications profondes des **méthodes de travail** habituelles des professionnels qu'il convient d'analyser et d'accompagner.

Le but de l'appel à projet est donc de soutenir des **opérations de numérisation et de modélisation d'ouvrages existants en maquette numériques ainsi que de gestion du patrimoine**, qu'il s'agisse de bâtiments collectifs à usage d'habitation réalisés par une maîtrise d'ouvrage publique ou privée, de logements individuels réalisés par un constructeur de maisons individuelles, d'équipements publics structurants pour une collectivité ou encore de bâtiments tertiaires. Ces projets pilotes ont été soutenus dans le but de **développer le déploiement du BIM** en conditions réelles d'une part et **d'obtenir des retours d'expérience** de la part des parties prenantes d'autre part.

2. Approche méthodologique

L'appel à projet souhaitait cibler des opérations de rénovation qui concernent les **ouvrages** et les **porteurs de projets** suivants :

- Bâtiment collectif à usage d'habitation réalisé par une maîtrise d'ouvrage publique ou privée ;
- Logement individuel réalisé par un constructeur de maisons individuelles ;

- Equipement public structurant réalisé par une collectivité (commune, intercommunalité, département ou région) ;
- Bâtiment tertiaire réalisé par une maîtrise d'ouvrage privée.

Les projets éligibles étaient tenus de respecter les objectifs de l'AAP, d'inclure des activités de numérisation et de modélisation d'ouvrage, de préciser la méthodologie et les outils envisagés pour l'opération de rénovation, d'associer un expert BIM, de constituer une équipe projet et de lancer celui-ci avant la fin de l'année 2016.

De plus, dans un souci de **valorisation de l'expérimentation du BIM**, les lauréats devaient s'engager à remettre plusieurs **livrables** à l'organisateur de l'AAP :

- Un livrable technique analysant la méthode employée, les conditions de réalisation de l'opération ainsi que les facteurs de difficulté et de succès en lien avec tous les aspects techniques du projet. Des recommandations techniques étaient également attendues ;
- Un livrable organisationnel appréciant les modifications induites par le déploiement du BIM en matière de collaboration et d'organisation des parties prenantes ;
- Un livrable financier détaillant l'impact économique de l'utilisation de la maquette numérique et des outils BIM sur l'équilibre financier du projet ;
- Livrable final émettant des conclusions et recommandations au sujet du projet, en rapport avec les objectifs de l'AAP.

3. Chiffres-clés

Le PTNB a soutenu **sept projets d'expérimentation du BIM et de la maquette numérique** sur des opérations de rénovation d'ouvrages existants dans toute la France. Ceux-ci sont situés dans les Pyrénées-Atlantiques, l'Essonne, les Yvelines, la Charente, la Haute-Garonne, le Finistère et Paris, dans des contextes géographiques variés, allant de petites communes rurales (Crozon, Espelette) à des grandes villes (Paris, Toulouse), en passant par des villes moyennes (Versailles, Cognac, Yerres).

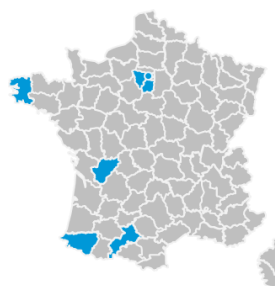


Figure 1 - Couverture géographique des projets lauréats

La subvention totale accordée par le PTNB dans le cadre de cet appel à projet s'élève à 443 350€, soit 63 336€ en moyenne par projet. Le déploiement du BIM au sein du projet plus large de rénovation représente en moyenne un coût de 139 361€ par projet, soit environ 7% du montant total du projet intégral de rénovation. **Ces chiffres masquent toutefois des différences significatives entre les projets sélectionnés.** Le coût global des projets de rénovation varie en effet de 350 000€ à 15 000 000€, tandis que le montant de la partie BIM de ces projets s'échelonne entre 24 600€ et 206 696€.

4. Enjeux relatifs à l'intégration du BIM

Afin que l'intégration du BIM et de la maquette numérique dans les opérations de rénovation de constructions existantes soit un succès, les parties prenantes au projet doivent relever plusieurs défis majeurs.

En premier lieu, les outils et processus BIM étant relativement nouveaux, les parties prenantes ont souvent une **connaissance encore insuffisante** concernant leur mise en œuvre en conditions réelles, que ce soit sur

des **aspects techniques ou organisationnels**. Pour l'ensemble des projets lauréats, le maître d'ouvrage et l'expert BIM/BIM Manager ont dû composer avec des entreprises de maîtrise d'œuvre à la maturité BIM très hétérogène. Or la conduite de projets en BIM nécessite des connaissances techniques spécifiques et des capacités organisationnelles importantes. Par exemple, les architectes et les bureaux d'études doivent être capables de produire, de se transmettre et de visualiser les maquettes numériques des uns et des autres, malgré des différences de formats et de logiciels.

De plus, la transition des équipes de maîtrise d'œuvre et de maîtrise d'ouvrage vers le BIM implique des **ajustements majeurs** par rapport aux projets « classiques » **au niveau de la méthode de travail**. L'un des enjeux principaux pour les lauréats consiste à **mener le projet de rénovation à bien** dans les délais impartis, **en accompagnant les parties prenantes inexpérimentées dans leur apprentissage du BIM**. Ce défi est d'autant plus difficile à relever lorsque les parties prenantes disposent de ressources financières, techniques, humaines et organisationnelles limitées. Ainsi l'un des objectifs du projet « Utilisation du BIM pour la réhabilitation d'un bâtiment en centre médical » consistait précisément à expérimenter l'appropriation du BIM par une maîtrise d'ouvrage aux moyens techniques et logistiques restreints – la commune d'Espelette comptant environ 2100 habitants – ainsi que par des entreprises artisanales de la construction pour la partie maîtrise d'œuvre.

En second lieu, les parties prenantes aux projets doivent **relever des défis techniques importants** associés à l'intégration du BIM dans le cadre d'opérations de rénovation du patrimoine. Ceci s'explique d'une part du fait de la **complexité même de la réhabilitation du bâti**, et d'autre part du fait de la **nouveauté de certains outils et techniques propres au BIM**. Les opérations de rénovation sont complexes par nature puisqu'elles consistent à apporter des modifications importantes à un bâtiment existant, tout en tenant compte des multiples contraintes et objectifs associés au projet (ex : état initial du bâtiment ; contraintes architecturales ou contextuelles ; changement d'usage etc.). Par conséquent, l'intégration de certaines techniques liées au BIM et à la maquette numérique ainsi que les modifications organisationnelles associées s'avèrent d'autant plus délicates.

Le projet « Réhabilitation du château de Guillaume Budé à Yerres » représentait un véritable défi technique du fait de la **structure architecturale complexe** du château à rénover (ancienneté des structures, agglomération et imbrication de plusieurs bâtis différents, planchers multiples, etc.) et de la nécessité de conserver des éléments présentant un intérêt patrimonial, puisque le bâtiment est classé Monument historique. Ces contraintes architecturales et patrimoniales ont ainsi rendu le travail de relevé 3D, d'extraction des données et de modélisation plus difficile. Des solutions techniques adaptées ont donc dû être mises en œuvre par les professionnels pour dépasser ces contraintes. Il convient toutefois de rappeler qu'*in fine*, le recours au BIM et à la maquette numérique devrait justement faciliter le travail des professionnels impliqués sur ce type d'opérations de rénovations complexes.

Description de l'appel à projets et des travaux menés (aperçu des lauréats de l'appel à projet, contenu des projets et comparaison sur des critères définis, moyens mis en œuvre)

5. Composition des lauréats

Sept porteurs de projet ont été sélectionnés. Parmi eux, plus de la moitié sont des entreprises privées, deux sont des collectivités territoriales (communes) et un lauréat est un bailleur social. Il s'agit de :

- L'entreprise BService ;
- L'entreprise Immo Expansion ;
- L'entreprise Patrimofi ;
- L'entreprise Société Foncière Lyonnaise ;
- Mairie d'Espelette ;
- Mairie de Toulouse ;
- Le bailleur social Finistère Habitat.

Cette **diversité d'acteurs** était un critère voulu par les organisateurs de l'appel à projet. Ceux-ci cherchaient à tester l'intégration du BIM par des **maîtrises d'ouvrages publiques, privées** et ainsi que par un **constructeur de maisons individuelles** (il s'agit du bailleur social Finistère Habitat), dans le but d'étudier la façon dont ces acteurs s'approprient le BIM.

Les maîtres d'ouvrage se sont impliqués de manière différente dans les opérations de rénovation, en fonction de leur **degré d'expérience** du BIM et de la maquette numérique et de leurs objectifs en lien avec le BIM.

Certains porteurs de projet comme la mairie d'Espelette ou Immo Expansion, entreprise immobilière spécialisée dans la construction et la rénovation de bâtiments EHPAD – **n'ont pas ou peu expérience préalable du BIM**. A l'inverse, Bservice et Patrimofi sont des entreprises dotées d'une expérience solide et reconnue dans ce domaine.

En général toutefois, **les lauréats s'étaient récemment engagés dans une démarche d'expérimentation du BIM au sein de leur organisation** et souhaitaient donc consolider leur appropriation du BIM et en tirer des enseignements pour l'avenir. Ainsi, la Mairie de Toulouse expérimente depuis 2016 le BIM sur 9 projets pilotes concernant des groupes scolaires, tandis que l'entreprise d'immobilier tertiaire Société Foncière Lyonnaise a décidé de déployer la maquette numérique et le BIM sur tous ses projets d'envergure, dont le projet de réhabilitation d'un immeuble de bureaux structurellement complexe à Paris nommé « 96 Iéna ». De même, la rénovation d'une résidence HLM représente une opération pilote pour le bailleur social Finistère Habitat, qui s'est engagé depuis 2012 dans un projet stratégique SITP (système d'information technique patrimonial) qui l'a amené à mettre en place une base de données patrimoniale graphique BIM pour faciliter la gestion de son parc de 10 000 logements.

6. Objectifs

On peut distinguer trois grands types d'objectifs : **formation** des parties prenantes, **déploiement technique** du BIM et de la maquette numérique, et **valorisation** de l'expérimentation.

La **formation** des intervenants inexpérimentés aux aspects techniques et organisationnels du BIM est l'un des objectifs que tous les lauréats se sont fixés. En effet, la majorité des parties prenantes aux opérations de rénovation (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, architectes, prestataires etc.) n'avaient pas ou peu d'expérience de l'usage du BIM, étant donné sa nouveauté et son « coût » d'appropriation (financier, logistique, humain etc.). Par conséquent, les projets ont tous comporté des **évaluations du niveau de connaissances BIM** des intervenants ainsi que des **réunions de formation au BIM** afin de transmettre aux novices les bases leur permettant de participer efficacement à l'avancée du projet. De plus, l'expert BIM proposait souvent un **accompagnement méthodologique, technique et organisationnel** à l'ensemble des parties prenantes tout au long de l'opération pour faciliter l'intégration du BIM dans les méthodes de travail et résoudre des problèmes techniques.

Le **déploiement technique du BIM et de la maquette numérique** en phase conception, travaux ou gestion constitue l'objectif le plus important pour les lauréats.

En premier lieu, tous les lauréats se sont attelés à réaliser une analyse approfondie des besoins et attentes liées à l'intégration du BIM dans le cadre de leur projet de rénovation. Ce travail de consultation des acteurs concernés et de diagnostic BIM aboutit à la rédaction d'un document structurant qui définit les objectifs et attentes d'usage du BIM en fonction des particularités du projet : la **convention ou charte BIM**.

En second lieu, la **numérisation du bâtiment existant** *via* diverses techniques de **relevé** (ex : scan 3D, photogrammétrie, télémétrie etc.) constitue l'un des objectifs centraux de cet AAP. Le nuage de points relevé à partir du bâtiment permet ensuite aux géomètres ou aux experts BIM de **modéliser l'ouvrage tel qu'il existe**. La **création de la maquette numérique** représente en effet un des objectifs principaux de ces projets. Celle-ci intègre les **maquettes du bâtiment existant et projet**, ainsi que l'ensemble des éléments qui le constituent (structure, fluides, objets etc.). Toutes les **informations jugées pertinentes** pour la conception, la construction et l'exploitation future du bâtiment sont également intégrées à la maquette numérique.

La maquette numérique ainsi réalisée répond à des usages et objectifs spécifiques déterminés par le maître d'ouvrage au démarrage du projet :

- Celle-ci peut être utilisée en **phases études et chantier** pour améliorer la **coordination** entre les entreprises, détecter mais aussi réduire les **imprévus et les conflits**, effectuer des **calculs** et *in fine* **améliorer la qualité de conception du bâtiment tout en réalisant des gains de productivité**. La Société Foncière Lyonnaise souhaitait utiliser la maquette numérique notamment pour optimiser les surfaces et hauteurs sous plafond et anticiper les coûts et délais de construction. La Mairie de Toulouse voulait créer une maquette numérique de l'existant que les entreprises pourraient s'approprier dans le cadre d'un concours de maîtrise d'œuvre, en y insérant à leur tour des maquettes de leur projet ;
- La maquette numérique peut également répondre à des usages en **phase exploitation** du bâtiment. Par exemple, l'entreprise Bservice souhaitait intégrer à la maquette un DOE avec les équipements des locaux, des objets connectés ainsi que des outils facilitant la gestion des locaux.

La dernière grande catégorie d'objectifs concerne la **valorisation de l'expérimentation du BIM**. Les lauréats se sont en effet donnés pour but d'expérimenter l'intégration du BIM en conditions réelles. Outre l'apprentissage de la méthode de travail, des outils et des techniques BIM, la **détection et la résolution de divers problèmes techniques** liés à la mise en œuvre des technologies BIM constitue un objectif important pour plusieurs porteurs de projet. Un autre objectif est le **développement d'outils nécessaires à la mise en place d'une méthode de travail en BIM**. Ainsi, le projet « Bim to Rénov » porté par Immo Expansion cherchait à développer une plateforme collaborative en ligne permettant d'échanger et de gérer les données de la maquette numérique (dont le DCE). De même, dans le cadre du projet de rénovation de locaux dans la gare de Versailles Rive Droite, une interface web facilitant le suivi de la maquette et la gestion des locaux a été créée. Enfin, plusieurs lauréats s'étaient donnés pour but de valoriser leur travail en utilisant la maquette numérique comme **support de communication** auprès du grand public, des usagers du bâtiment etc. Par exemple, la maquette du château de Guillaume Budé réhabilité a été présentée auprès des services administratifs, de professionnels de la filière lors de colloques. Elle est également mise à disposition du grand public et d'acheteurs potentiels de logements du château.

7. Type de bâtiment développé

Pour cet appel à projet, une large variété d'ouvrage a été la cible de rénovations. Cette **diversité des bâtiments rénovés** était voulue par le PTNB, qui cherchait à soutenir le déploiement du BIM dans des bâtiments à la fois publics et privés, résidentiels et tertiaires, collectifs et individuels.

La majorité des lauréats a rénové des bâtiments à usage **tertiaire**, que ce soit pour :

- La **santé** : maison de santé d'Espelette et EHPAD à Cognac ;
- L'**éducation** : groupe scolaire Falucci à Toulouse ;
- Le **travail** : espace de travail dans la gare SNCF Versailles Rive Droite et immeuble de bureaux à Paris.

Les constructions **résidentielles** ont également fait l'objet de rénovations dans le cadre de cet appel à projet. Le bailleur social Finistère Habitat a porté un « projet de réhabilitation de 54 logements ». Il s'agissait d'une résidence HLM datant des années 70 et dont la performance thermique et énergétique médiocre nécessitait des travaux de rénovation. L'entreprise spécialisée Patrimofi a piloté la réhabilitation d'un château datant du 12^{ème} siècle utilisé à des fins résidentielles, celui de Guillaume Budé à Yerres.

Deux projets de rénovation ont abouti à un **changement d'usage** important du bâtiment : la Société Foncière Lyonnaise a modernisé et modifié un immeuble de bureaux parisien dans le but d'accroître sa mixité programmatique (espaces d'accueil du public notamment), tandis que la Mairie d'Espelette a transformé un bâtiment de vente de matériel agricole en maison de santé communale.

Les ouvrages rénovés sont très divers, que ce soit du point de vue de leur **usage**, de leur **ancienneté** ou encore du **degré de transformation** du bâtiment. Cette variété permet d'expérimenter l'usage du BIM et de la maquette numérique dans des environnements différents, sur des projets aux **contraintes** architecturales, techniques, économiques et organisationnelles **très diverses**. Il est ainsi possible de se rendre compte de la **valeur ajoutée liée à l'utilisation du BIM** dans certains contextes, ou au contraire des **limites de son application**. Ainsi, la réhabilitation du château de Guillaume Budé (12^{ème} siècle) a permis de tester la mise en œuvre de techniques de relevé et de numérisation 3D sur une construction ancienne à l'architecture particulièrement complexe. Il est apparu que l'usage du BIM et de la maquette numérique permet une **meilleure visualisation et donc compréhension de la structure de tels bâtiments**. A l'inverse, Finistère Habitat et la commune d'Espelette **s'interrogent sur la pertinence de l'usage du BIM** sur des petits projets de rénovation relativement simples, étant donné le coût initial important lié à sa mise en place actuellement.

8. Etapes du bâtiment où le BIM est intégré

Le BIM peut être intégré à l'ensemble des étapes de la vie d'un bâtiment, de sa conception à sa démolition. Dans le cadre du présent AAP, le BIM a été déployé lors des trois premières phases de vie d'une construction, à savoir :

- Phase programmation/conception : 6 projets ;
- Phase chantier : 4 projets ;
- Phase exploitation/usage : 2 projets.

Aucun projet n'a concerné la phase de fin de vie du bâtiment car celle-ci ne correspondait pas au cadre de l'AAP. En revanche la quasi-totalité des projets a concerné l'étape programmation et conception, où l'utilisation du BIM et de la maquette numérique se révèle particulièrement avantageuse. L'intégration du BIM pendant le chantier et lors de l'exploitation du bâtiment a également été expérimentée par quelques projets. La partie suivante (*9 – Intégration et implications des parties prenantes*) détaille la façon dont le BIM est déployé à chaque phase de la vie d'un bâtiment.

9. Intégration et implications des parties prenantes

Les opérations de réhabilitation d'ouvrages existants en BIM impliquent quatre types de parties prenantes : la maîtrise d'ouvrage, l'expert BIM, la maîtrise d'œuvre (architectes, géomètres, bureaux d'études techniques etc.) et les prestataires (entreprises du BTP, éditeurs de logiciel etc.). L'intégration du BIM nécessite la mise en place d'une **méthode de travail plus collaborative reposant sur des échanges plus importants et complexes entre les parties prenantes**. Le processus BIM étant encore nouveau pour la majorité des parties prenantes, celles-ci ont dû apprendre à modifier leurs méthodes de fonctionnement ainsi que leurs **relations avec les autres acteurs du projet**.

L'implication des parties prenantes conditionne la réussite de chaque phase de l'opération réalisée en BIM. Durant la **phase de programmation et de diagnostic BIM**, l'ensemble des parties prenantes (hormis les prestataires) se réunissent généralement pour élaborer et valider un document central pour l'avancement du projet : la **charte (ou convention) BIM**. Ce document indispensable précise notamment l'organisation des tâches et le protocole d'échange entre les acteurs du projet ainsi que l'utilisation attendue du BIM. La commune d'Espelette et l'expert BIM HTM ont rédigé une charte BIM définissant les objectifs du BIM pour

tous les futurs projets de la commune après avoir mené une analyse des besoins en matière de gestion et de maintenance de son patrimoine bâti, en consultant les agents communaux notamment.

Les **séances de formation** aux aspects techniques et organisationnels du BIM interviennent également lors de cette phase initiale. Ainsi, quatre rencontres de formation ont eu lieu dans le cadre du projet « BIM to Rénov » porté par Immo Expansion. Elles ont permis de couvrir plusieurs aspects essentiels à l'avancement du projet, comme la méthode BIM et ses concepts, les besoins identifiés en lien avec la plateforme d'échange collaborative, les fonctionnalités de celles-ci et enfin les aspects techniques de la maquette numérique et de l'échange de données.

Lors de la **phase suivante de création de la maquette numérique**, les **formes d'intégration des parties prenantes sont plus variées**. Elles impliquent également **l'utilisation d'outils** permettant des **moyens de collaboration et des échanges d'information plus complexes**.

La production de la maquette numérique finale nécessite une **collaboration étroite** entre les acteurs de la maîtrise d'œuvre (architectes, géomètres, bureaux d'études techniques) ainsi que l'expert BIM. Ceux-ci doivent recueillir des données auprès d'autres intervenants (en particulier les relevés 3D) et les traiter avant de pouvoir modéliser la construction. Lors de la modélisation de la maquette, les personnels impliqués doivent en particulier veiller à coordonner leur travail pour ne pas entraîner de retards et à faciliter l'échange de données complexes. L'utilisation d'une **plateforme d'échange collaborative**, de **visionneuses** performantes et de **formats interopérables** permet une collaboration efficace entre les acteurs à ce stade. L'un des objectifs du projet « BIM to Rénov » d'Immo Expansion consistait justement à développer une plateforme collaborative en ligne « Cartobim » comme point de convergence durant tout le cycle de vie du bâtiment.

Enfin, pendant la **phase conception ou gestion du bâtiment**, la **maquette numérique** joue un rôle central en tant que **support de visualisation, d'échange et de gestion pour les parties prenantes**. En effet, lorsqu'il s'agit d'effectuer les études préalables au chantier de construction, la maquette sert de référentiel commun à tous les intervenants. Elle permet à chacun de visualiser le bâtiment projet dans son ensemble mais aussi dans ses moindres détails et ainsi d'anticiper très en amont des problèmes éventuels (ex : clashes), d'effectuer des calculs (thermiques, énergétiques, économiques etc.), de mieux coordonner le déroulement du chantier etc. Ainsi, l'un des objectifs du projet 96 Iéna était d'utiliser le BIM et la maquette pour optimiser les surfaces et les hauteurs sous plafond.

Cette fonction de visualisation du bâtiment s'avère également utile en phase exploitation du bâtiment. La maquette peut servir de **support de communication** auprès de futurs clients, comme c'est le cas pour les logements au sein du château de Guillaume Budé par exemple, ou auprès d'usagers des locaux dans le cas de la rénovation de l'espace de travail intégré dans la gare de Versailles Rive Droite.

Tout au long de ces phases, **l'expert BIM** joue souvent un rôle crucial de **facilitateur dans la gestion et la structuration des relations entre parties prenantes**. Celui-ci peut être à l'origine de réunions ou de séances de formation. Il peut également proposer un accompagnement aux intervenants inexpérimentés en matière de BIM pour résoudre des problématiques plus précises. D'autres **intervenants spécialisés** peuvent également être associés à certaines phases du projet pour fournir un appui et une expertise ponctuelles, comme par exemple l'Ordre des Architectes et la Fédération Française du Bâtiment dans le cadre du projet « Restructuration et extension du groupe scolaire Falucci » porté par la mairie de Toulouse.

10. Technologies déployées

Plusieurs types de technologies sont déployées sur un projet de rénovation réalisé en BIM. On peut distinguer les techniques de **relevé et de numérisation du bâtiment**, de **modélisation** de la maquette et enfin de **visualisation** de celle-ci. D'autres types de technologies variées sont également intégrés. Voici les logiciels et techniques utilisés :

- Relevé et numérisation :
 - o Techniques : scan 3D par lasergrammétrie, photogrammétrie permettant d'obtenir un nuage de points du bâtiment. La télémétrie a aussi parfois été employée. L'utilisation de l'applications smartphones permettant de tels relevés a fait l'objet d'expérimentations,

- comme dans le cadre du projet « Réhabilitation de locaux existants en bureaux avec le BIM – Gare Versailles Rive Droite » par exemple ;
- Logiciels : Faroscene (traitement de nuage de points).
 - Modélisation de la maquette : Revit ; Archicad ; Sketchup ; Allplan ; Navisworks ; Meshlab ; Recap ;
 - Visualisation de la maquette : eveBIM ; Tekla BIM Sight ; ArcGIS ; Bloc in bloc ; Webshare ; Autocad ; CartoBIM ; Solibri Model Viewer ;
 - Autres : Solibri Model Checker (contrôle qualité des maquettes numériques) ; *voir également les fonctionnalités offertes par les plateformes d'échange collaboratives dans la partie suivante (11 - Mode de sauvegarde et de gestion des données et pérennisation des informations).*

11. Mode de sauvegarde et de gestion des données et pérennisation des informations

L'ensemble des projets s'appuie sur des **solutions d'échange, de sauvegarde et de gestion des informations**. La sauvegarde des données s'effectue généralement grâce à des solutions de stockage cloud comme Dropbox ou WeTransfer. Les **plateformes d'échange collaboratives en ligne et intégrées** sont largement employées par les parties prenantes de chaque projet. Des solutions déjà existantes telles que BIM360 Team, Mezzoteam, ou encore KROQI (de la Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages) sont privilégiées. Ces plateformes intègrent plusieurs fonctionnalités BIM indispensables en plus de celles d'échange centralisé d'informations, comme par exemple le suivi et la gestion de l'avancement du projet, la visualisation de maquettes, la réalisation de calculs, l'extraction et la mise à jour de données etc. Le **choix de la plateforme** est souvent déterminé par des considérations comme la compatibilité de la plateforme avec les autres logiciels utilisés dans le cadre du projet, son coût, sa facilité d'utilisation ou encore le degré d'expérience des parties prenantes.

Les acteurs du projet « BIM to Rénov » se sont attelés au développement de « **CartoBIM** », une plateforme d'échange collaborative offrant des services d'intégration et de traitement des données, de visualisation, de partage entre les acteurs et de suivi des échéances entre autres. Cet outil intégré répond aux besoins identifiés durant l'expérimentation.

L'échange de données sur ces outils est généralement effectué au format d'échange IFC compatible entre différents logiciels de conception de la maquette. Certains acteurs réalisent les échanges à la fois au format natif et au format IFC. Le format IFC garantissant l'interopérabilité entre l'ensemble des logiciels métiers pose toutefois quelques problèmes (voir partie 14 – *difficultés et leviers d'action*). En effet, certains éléments sur les maquettes doivent souvent être retravaillés avant de pouvoir être exportés avec succès vers un autre logiciel.

Analyse de l'appel à projet

12. Coûts de déploiement

On peut distinguer deux types de coûts liés au déploiement du BIM au sein du projet :

- Les dépenses en **équipements** : achat d'équipements informatiques, de logiciels, de licences etc. ;
- Les dépenses en **personnels** : honoraires et prestations, formation des équipes, réunions etc.

En moyenne, les dépenses en personnels représentaient 58% des coûts de déploiement du BIM, contre 42% pour les dépenses en équipements. Cette répartition plutôt égale des coûts ne reflète pas parfaitement la **diversité des situations** parmi les projets lauréats.

Ainsi, la mairie d'Espelette a décidé dès le départ de **privilégier des outils numériques gratuits ou abordables** dans le cadre de son projet afin de minimiser les dépenses en équipements. Par ailleurs, les variations de répartition des coûts entre projets peuvent refléter des **différences en matière d'équipement et de maturité BIM** des acteurs clés. Lorsque les parties prenantes disposent déjà de logiciels et d'outils nécessaires au BIM, les dépenses en équipements sont faibles. De même lorsque les entreprises sont peu expérimentées au BIM, les dépenses en formations et réunions sont plus élevées. Enfin, l'allocation entre dépenses d'équipements et de personnels est aussi déterminée par la **nature même de l'opération de rénovation**. Ainsi un projet techniquement complexe tel que celui de la réhabilitation du château de Guillaume Budé a nécessité l'achat d'équipements plus sophistiqués et donc plus coûteux.

13. Intérêt perçu du BIM (coopération des acteurs / coûts des projets / etc.)

De la programmation à l'exploitation d'un bâtiment en passant par sa construction, le BIM et la maquette numérique apportent des améliorations importantes par rapport aux outils et méthodes traditionnelles d'après les porteurs de projets.

Tout d'abord, le BIM et la maquette numérique **accroissent l'efficacité de la coopération entre les parties prenantes au projet**, à toutes les phases de la vie d'un bâtiment, grâce à une **meilleure organisation des données**. La **plateforme d'échange collaborative** centralise, structure et pérennise l'échange d'informations entre acteurs tout au long du projet. Elle rend possible la coordination entre collaborateurs ne travaillant pas sur le même lieu, en même temps ou sur les mêmes tâches. La mairie d'Espelette souligne ainsi l'utilité de la plateforme KROQI, en particulier sa simplicité, sa gratuité, la pertinence de ses fonctionnalités et sa capacité à faciliter le travail collaboratif. De même, la **maquette numérique sert de référentiel commun** aux équipes de maîtrise d'œuvre durant la phase de conception, aux prestataires, à la maîtrise d'œuvre et à la maîtrise d'ouvrage en phase travaux, et enfin à l'exploitant et aux prestataires en phase utilisation du bâtiment, puisqu'elle intègre toutes les données pertinentes à propos de l'ouvrage, et ce de manière exhaustive, intelligente et dynamique. Ces outils collaboratifs contribuent à **faciliter la gestion et l'avancement du projet**.

En **phase conception**, le relevé et la numérisation du **bâtiment existant** par scanner 3D puis sa modélisation en maquette numérique permettent un **diagnostic approfondi de l'organisation de l'ouvrage à rénover** (structure, système de fluides, enveloppe architecturale, intégration dans le quartier etc.). Cette meilleure compréhension du bâtiment facilite le travail de curage du bâtiment existant et de conception du bâtiment projet. Elle permet d'anticiper très en amont de potentielles contraintes architecturales ou techniques. Ceci s'est révélé particulièrement important lors de la réhabilitation du château de Guillaume Budé à Yerres. Le château – classé monument historique – est caractérisé par une structure constructive complexe qui est le fruit d'une accumulation de rénovations et d'ajouts au cours des neuf derniers siècles. La numérisation de ce patrimoine a amélioré la lisibilité des éléments architecturaux et des principes constructifs de l'ouvrage pour la maîtrise d'œuvre.

L'utilisation de la **maquette numérique** offre également de nombreux avantages en **phases conception et travaux** :

- La diffusion de cette maquette dans le cadre de concours de maîtrise d'œuvre permet aux équipes en compétition de mieux s'approprier le bâtiment et ainsi de **proposer des solutions plus adaptées**,

comme souligné par la mairie de Toulouse dans le cadre de son projet « Restructuration et extension du groupe scolaire Falcucci » ;

- La maquette numérique permet de **visualiser et détecter en amont des problèmes éventuels** qui pourront donc être anticipés et résolus ;
- Elle sert de **référentiel commun** à la maîtrise d'œuvre, aux prestataires et aux différents acteurs de la maîtrise d'œuvre, quelque soit leur spécialité. La maquette numérique représente donc un **support d'échange** indispensable aux parties prenantes, qui peuvent ainsi échanger plus facilement sur des sujets techniques en ayant recours au même outil commun ;
- Elle offre des gains de temps puisqu'elle évite la **ressaisie d'informations**.

Tous ces éléments contribuent à **améliorer la qualité de conception de l'ouvrage projet, à réduire les conflits et les imprévus et à minimiser les coûts et les délais lors du chantier** selon les porteurs de projet.

Lors de la phase **d'exploitation** de l'ouvrage rénové, la maquette et les outils numériques de gestion du patrimoine optimisent le suivi et l'organisation des interventions, de la maintenance ou encore des consommations puisqu'ils facilitent la gestion des données. Les lauréats estiment que cela devrait se traduire par la suite par des **gains de temps et une réduction des coûts et efforts** en lien avec la maintenance. Ces bénéfices n'ont pour l'heure pas encore été mesurés puisque les projets concernés n'avaient pas encore réellement atteint la phase gestion. Par ailleurs, les outils BIM permettent le déploiement de dispositifs qui **améliorent le confort des utilisateurs**, comme par exemple les capteurs de température connectés dans le cadre du projet « Réhabilitation de locaux existants en bureaux avec le BIM – gare de Versailles Rive Droite ».

Enfin, la maquette numérique peut également être utilisée comme **outil de communication innovant** auprès des usagers du bâtiment, qui peuvent mieux visualiser les espaces et interagir avec la maquette de manière ludique.

14. Difficultés et leviers d'action

Les outils, la méthode de travail et l'organisation des tâches liées au BIM étant nouvelles pour la grande majorité des parties prenantes aux projets lauréats, ceux-ci ont rencontré de nombreuses difficultés, **tant sur le plan organisationnel et humain, que sur le plan technique**. Des difficultés d'ordre **économique et contextuel** sont également venues **amplifier** les problèmes organisationnels et techniques.

Les premières difficultés rencontrées sur les projets sont celles en lien avec **l'organisation de la méthode de travail** :

- **La mise en place d'un fonctionnement collaboratif** a suscité des difficultés dans la plupart des projets. Le **manque d'expérience** de certaines parties prenantes concernant la méthode de travail collaborative BIM a entravé la coordination entre acteurs nécessaire à l'avancement du projet. Dans le cadre du projet « 96 Iéna », le lauréat remarque ainsi que le bureau d'études techniques n'a pas anticipé ni communiqué au géomètre chargé de la numérisation du bâtiment ses besoins spécifiques en matière de visualisation de zones particulièrement sensibles. Cela a nécessité un travail supplémentaire en aval et a engendré des retards. De manière plus générale, chaque intervenant est souvent contraint **d'adapter sa méthode de travail et ses outils** à ceux des autres, et ce bien plus que sur des opérations de rénovation « classiques » ;
- L'apprentissage du fonctionnement collaboratif et sa mise en œuvre ont nécessité des **ajustements organisationnels et humains importants**, en particulier au sein des TPE et PME aux marges de manœuvre limitées et au sein des entreprises inexpérimentées. Cette adaptation représente un **coût important, qu'il soit financier, humain (formation, adaptation) ou organisationnel**. Les ajustements ont parfois suscité par des réticences auprès d'acteurs peu enclins à modifier leurs habitudes ou peu convaincus de la pertinence du BIM pour leurs activités. Ce fut notamment le cas dans le cadre du projet porté par la commune d'Espelette : certaines équipes de maîtrise d'œuvre n'étaient pas particulièrement motivées par l'expérimentation du BIM ;
- Plusieurs lauréats ont constaté que **la connaissance du BIM restreignait l'appel d'offre à des entreprises disposant déjà de cette technologie**, au détriment des TPE et PME non équipées ;
- De nombreux lauréats ont souligné que **l'intégration du BIM modifiait la durée, l'enchaînement et le coût de certaines phases de projet**. Ainsi, comme la plupart des lauréats, Patrimofi a remarqué

que la phase de conception et d'études sur une opération menée en BIM est plus longue que sur un projet classique, tandis que la phase travaux se retrouve écourtée grâce à une meilleure qualité de conception et anticipation des contraintes. S'il n'est pas bien accompagné, ce changement peut bouleverser l'avancement du projet ainsi que son équilibre financier.

- La mairie d'Espelette s'interroge sur la **capacité des collectivités territoriales aux ressources techniques, financières et humaines limitées à mettre en œuvre des projets de gestion du patrimoine en BIM sur le long terme**. Cela implique effectivement d'absorber des coûts élevés et des déployer des compétences techniques spécifiques dans la durée, et ce dans des communes de petite taille. Le lauréat espère pouvoir trouver des synergies avec les collectivités territoriales des alentours.

Les difficultés d'ordre **technique** portaient notamment sur :

- **L'interopérabilité** des formats de maquette et d'éléments au sein de celles-ci a été jugée imparfaite par presque tous les lauréats. Ceux-ci ont pourtant privilégié l'usage du format IFC permettant l'échange de données entre différents logiciels de modélisation et de visualisation. Or ce format ne s'avérant pas parfaitement interopérable, des **ressaisies** ont dû être effectuées et des parties entières de maquette ont dû être modélisées à nouveau. Ce **travail supplémentaire** a affecté l'avancement du projet et a parfois même diminué la qualité des maquettes numériques produites. Les lauréats affirment néanmoins que ces soucis d'interopérabilité du format IFC vont sans doute disparaître à l'avenir ;
- **La modélisation du bâtiment sur les logiciels** appropriés a posé quelques problèmes. Le lauréat Immo Expansion a dû faire face à des soucis d'incompatibilité entre différentes licences et versions du logiciel Revit qui ont empêché des exports de maquette entre parties prenantes, entraînant ainsi des retards dans la modélisation des maquettes. Ce même lauréat a également dû composer avec des problèmes de mise à jour de la maquette numérique. Finistère Habitat relève que les outils de modélisation BIM des espaces extérieurs étaient particulièrement inadaptés. La mairie d'Espelette constate que la recherche d'objets BIM gratuits ayant les bonnes caractéristiques a été difficile et chronophage.
- De manière générale, **l'appropriation des outils et techniques** de numérisation, de modélisation et d'intégration des données dans la maquette entre autres ne s'est pas faite sans heurts. Le manque d'expérience de certaines parties prenantes, la nouveauté et la multiplicité des logiciels BIM ainsi que le manque de planification ou de définition des besoins en amont du projet rendent cette appropriation d'autant plus difficile. Le lauréat Finistère Habitat estime que la **complexité des outils BIM freine leur adoption par les TPE et PME aux capacités limitées**.

Par ailleurs, le **coût d'appropriation du BIM** constitue un **frein économique** important pour les parties prenantes aux capacités limitées :

- L'acquisition des équipements BIM (logiciels, ordinateurs, outils de numérisation etc.), la formation des acteurs inexpérimentés au BIM, les ajustements organisationnels et techniques ainsi que les retards liés au manque d'expérience BIM constituent des **surcoûts que les parties prenantes doivent assumer**. Les intervenants aux moyens financiers, organisationnels et humains restreints éprouvent des difficultés à absorber ce coût initial important. Toutefois, les parties prenantes remarquent qu'à terme **ce coût initial important devrait tendre à diminuer avec l'expérience acquise et les progrès technologiques**.

Conclusions et recommandations vis-à-vis de l'objet des appels à projet

15. Analyse financière de l'intégration du BIM

L'intégration du BIM aux diverses étapes de la vie d'un bâtiment représente un coût non négligeable pour les acteurs, du fait de sa nouveauté. La majorité des équipes de maîtrise d'œuvre et des prestataires sont encore en phase d'appropriation du BIM et de la maquette numérique. Celles-ci doivent donc effectuer des **dépenses importantes en formation** du personnel sur les outils, la culture et la méthodologie BIM. Des **embauches** de personnel qualifié sur le BIM sont aussi parfois nécessaires. Les entreprises sont souvent contraintes **d'acheter des équipements BIM** coûteux tels que des logiciels de modélisation ou de visualisation par exemple, des ordinateurs plus performants capables de gérer des maquettes numériques 3D « lourdes », des tablettes numériques ou encore du matériel pour scan 3D. Ces dépenses sont indispensables : elles constituent le coût d'appropriation du BIM.

Le montant élevé de ces dépenses constitue une véritable **barrière pour les petites organisations** telles que les TPE et PME, les artisans, ou les maîtrises d'ouvrages aux moyens limités. Celles-ci peuvent donc se retrouver exclues du BIM (notamment lors de concours de maîtrise d'œuvre) ou éprouver des difficultés importantes à se l'approprier. Il faut néanmoins reconnaître que **cet obstacle financier se situe plus au niveau de la formation que des équipements BIM**, puisque des outils gratuits sont en train de se développer, comme par exemple la plateforme KROQI de la DHUP.

La nouveauté du BIM implique que des **dépenses additionnelles** en matière de formation, de réunions d'honoraires, de prestations doivent être effectuées par l'ensemble des entreprises de maîtrise d'ouvrage, même les plus expérimentées, **tout au long du projet**. En effet, de nombreuses difficultés techniques ou organisationnelles surviennent étant donné que les outils BIM ne fonctionnent pas encore parfaitement et ne sont pas encore maîtrisés par certains acteurs, et que la méthode de travail BIM n'est pas encore acquise pour tous. Ces manques peuvent être comblés en reprenant certaines tâches mal effectuées, en organisant des réunions, en réalisant des formations plus approfondies ou encore en expérimentant de nouveaux outils ; cela a un coût.

Malgré ces dépenses élevées, les lauréats s'accordent à dire qu'une fois que le BIM sera arrivé à maturité et qu'il sera bien maîtrisé par l'ensemble des acteurs impliqués sur un projet, il permettra de **réduire de nombreux coûts** sur les projets de rénovation et de gestion du patrimoine bâti :

- Lors d'une opération en BIM, la **phase conception et études est plus longue** que sur des projets « classiques », mais elle est également **plus approfondie**. La maquette numérique et les techniques de visualisation et de détection de conflits permettent d'anticiper des difficultés techniques très en amont du chantier et d'effectuer des calculs facilement. La plateforme d'échange collaborative facilite la coordination entre parties prenantes et réduit les conflits et les imprévus à toutes les étapes. La maquette numérique permet aussi aux entreprises de maîtrise d'œuvre de proposer des offres plus adaptées aux contraintes du projet. Tout cela contribue à **gagner en productivité et à minimiser les retards et coûts associés** ;
- De même, en phase « utilisation » du bâtiment, les outils BIM facilitent la **connaissance, la gestion et la maintenance des locaux**, et réduisent donc les dépenses de fonctionnement des bâtiments.

Ces gains financiers n'ont généralement **pas encore été mesurés** par les lauréats, puisqu'ils adviendront sur un horizon de temps dépassant la durée du projet PTNB.

Par ailleurs, la maquette numérique représente un support de communication innovant pour les promoteurs immobiliers, susceptible **d'accroître la visibilité du bâtiment et donc d'attirer plus de clients**, d'après les lauréats.

16. Succès de l'expérimentation

Plusieurs facteurs déterminent le succès du déploiement du BIM et de la maquette numérique sur les opérations de rénovation soutenues par le PTNB. Ceux-ci sont souvent le pendant des difficultés identifiées dans la partie 14, et peuvent donc être catégorisés de la même manière. L'ensemble des lauréats s'accordent sur la nature de ces facteurs de succès.

Les **facteurs organisationnels et humains** conditionnent en grande partie la réussite de l'opération d'expérimentation du BIM au sein des projets :

- La **formation** des parties prenantes aux aspects méthodologiques, organisationnels et techniques du BIM et de la maquette numérique constitue un levier crucial pour l'avancement du projet. Les séances de formation, les réunions et les échanges de bonnes pratiques garantissent que tous les acteurs sont en capacité de s'approprier le BIM - du moins ses bases - et que leur niveau de connaissance BIM est relativement homogène. La majeure partie des projets a donc fortement mis l'accent sur ce volet « formation ». La méthode de travail en BIM étant éloignée des pratiques classiques, il convient de transmettre la « culture » BIM aux entreprises impliquées dans cette démarche. La formation assure non seulement la bonne coordination entre acteurs, mais elle permet également d'éviter de nombreuses difficultés techniques qui pourraient survenir par la suite.
- La **motivation et l'implication** de l'ensemble des parties prenantes est un autre facteur de réussite majeur. En effet, afin que le projet avance dans de bonnes conditions, les acteurs doivent accepter de surmonter de nombreux obstacles, d'ajuster leurs méthodes de travail et leurs techniques, de collaborer ensemble et de proposer des solutions adaptées aux problèmes rencontrés. De plus, ceux-ci doivent rapidement s'approprier et utiliser les outils BIM tels que la plateforme d'échange collaborative pour que la coopération soit efficace. La sélection d'entreprises motivées par le biais d'un concours de maîtrise d'œuvre est une solution que la mairie de Toulouse a notamment mis en place pour garantir que les équipes impliquées seront motivées ;
- La **convention ou charte BIM** représente un document structurant essentiel au bon déroulé de l'opération de rénovation et à l'exploitation efficiente du bâtiment. La définition précise d'aspects tels que le cahier des charges BIM, la transmission des échanges, le rôle de chacun et les attentes du maître d'ouvrage permet d'éviter des difficultés techniques et organisationnelles. Cette convention est d'autant plus utile lorsqu'elle a été rédigée en associant le plus grand nombre d'acteurs concernés ;
- **L'expert BIM ou « BIM manager »** joue un rôle de premier plan dans l'accompagnement des intervenants tout au long du projet. Son dynamisme, son efficacité, son expérience et sa pédagogie représentent des atouts majeurs pour les équipes qu'il vient soutenir. Il dispose en effet d'une capacité de structuration des échanges, d'appui technique et méthodologique qui contribue au bon déroulé du projet. De nombreux lauréats ont donc souligné les qualités de leur expert BIM ;
- **L'expertise technique ponctuelle** d'organismes tels que la Fédération Française du Bâtiment et l'Ordre des Architectes s'est également avérée précieuse dans le cadre du projet « Restructuration et extension du groupe scolaire Falcucci.

Les **facteurs techniques** sont également primordiaux :

- Lorsqu'ils sont correctement maîtrisés et qu'ils fonctionnent bien, les logiciels BIM (numérisation, modélisation, visualisation de la maquette, gestion de projet et plateforme d'échange collaborative) offrent de nombreux avantages aux parties prenantes (*voir partie 13 - intérêt perçu du BIM*). **La sélection des logiciels adaptés** au contexte de l'opération de rénovation favorise grandement la réussite du projet. Ainsi les projets ayant effectué une analyse et comparaison des différentes solutions offertes sur le marché – comme par exemple ceux portés par Bservice et Finistère Habitat - ont pu choisir les logiciels en amont du projet ;
- **La facilité d'usage et l'accessibilité** de certains outils BIM tels que la plateforme KROQI ont aidé les intervenants avec des moyens humains, techniques et financiers restreints, comme dans le cas du projet « Utilisation du BIM pour la réhabilitation d'un bâtiment en centre médical ».

Conclusion générale

Deux évolutions majeures de la transition numérique - le BIM et la maquette numérique - sont en train de modifier en profondeur le secteur du bâtiment, tant sur le plan technique qu'organisationnel. Le présent appel à projet avait pour objectif d'expérimenter le déploiement de la maquette numérique ainsi que des outils et méthodes de travail BIM sur les opérations de rénovation d'ouvrages existants. La grande **diversité des lauréats et des ouvrages rénovés** a permis de tester les innovations liées au BIM dans des contextes variés, et ainsi de **mieux comprendre ses atouts et ses limites**.

Les lauréats s'accordent sur les **nombreux avantages** offerts par les technologies de relevé 3D et de numérisation, de modélisation et de visualisation de la maquette du bâtiment existant et projet, de suivi de projet, de gestion du bâtiment. Ils soulignent également l'utilité de la convention BIM, de l'expert BIM et des plateformes d'échange collaborative qui favorisent grandement la coopération entre intervenants, à toutes les phases du projet. La maquette numérique sert de **référentiel commun et de support d'échange** entre parties prenantes tout au long de la vie d'un bâtiment. Ces changements organisationnels et techniques entraînent des gains de productivité et de qualité induits par une réduction des conflits, une compréhension plus précise du bâtiment, une collaboration plus efficace, une gestion plus rapide des données, et une exploitation plus intelligente des locaux.

Toutefois, ces avantages n'ont pas été systématiquement observés par les lauréats, pour deux raisons principales. D'une part, **certains gains ne pouvaient pas être observés** pendant la durée relativement courte de l'expérimentation. D'autre part, il est apparu que l'intégration du BIM aux opérations de rénovation a présenté des difficultés à plusieurs niveaux. Les outils, technologies et méthodologies BIM sont relativement **complexes et nouvelles** pour les acteurs du bâtiment. Leur appropriation par la maîtrise d'œuvre, la maîtrise d'ouvrage et les prestataires représente un **coût important**, en termes de **formation**, de **personnels**, d'acquisition **d'équipements et de logiciels**, et surtout de modification des **pratiques techniques et organisationnelles**. Les difficultés techniques telles que le **manque d'interopérabilité** entre les logiciels, les **imperfections logicielles** et la **nouveauté** relative de ceux-ci constituent autant d'obstacles que les acteurs ont dû apprendre à surmonter ou à accepter.

Néanmoins, il apparaît que les **barrières organisationnelles et humaines** étaient encore plus grandes. La formation des acteurs inexpérimentés aux aspects techniques et méthodologiques n'a pas toujours été suffisante. L'expérience du BIM ne s'acquiert pas instantanément, **elle s'accumule sur plusieurs opérations**. Le manque de **motivation et d'implication** de certains intervenants a souvent entravé la collaboration nécessaire à l'avancement du projet. Le BIM a également bouleversé la **durée et le phasage** des opérations de rénovation, compliquant ainsi la gestion des activités et l'équilibre financier des projets. Par ailleurs, **le coût substantiel d'intégration du BIM** implique que celui-ci n'est pour l'heure pas accessible à tous les acteurs du bâtiment, et qu'il n'est pas toujours pertinent sur certaines opérations de rénovation. Ce coût explique en partie le manque d'implication de certains intervenants, leur formation insuffisante et leur incapacité à trouver des solutions aux nombreuses difficultés techniques liées au BIM.

Par conséquent, il convient de s'interroger à la fois sur la **pertinence du BIM dans certains contextes** et sur les **leviers à actionner afin de faciliter l'appropriation du BIM** par les acteurs en difficulté. Actuellement, le coût d'intégration du BIM reste élevé du fait de sa nouveauté. Son déploiement sur des petites opérations de rénovations relativement simples et impliquant des acteurs du type TPE et PME aux moyens financiers, techniques et humains limités n'améliorera pas l'équilibre financier du projet. A l'inverse, la numérisation, la maquette numérique et les autres techniques BIM conviennent particulièrement aux grands projets techniquement complexes, pilotés par des maîtrises d'ouvrage et des maîtrises d'œuvre aux marges de manœuvre suffisantes.

Toutefois, si le coût d'appropriation du BIM diminue sensiblement dans les années à venir, il pourrait être généralisé à l'ensemble des opérations de rénovation et de gestion d'ouvrages existants. Les lauréats envisagent une **diminution du prix des équipements** et une **amélioration de la performance des outils BIM**, notamment en matière de fiabilité et d'interopérabilité des logiciels. Un **soutien plus fort des pouvoirs publics** permettrait d'accélérer ce processus ; la mise en service **d'outils accessibles financièrement et techniquement** tels que la plateforme KROQI en est un exemple. Par ailleurs, les efforts doivent également porter sur la **formation** des acteurs du bâtiment aux techniques et à la méthode de travail BIM.

L'accompagnement doit en particulier se concentrer sur les acteurs ayant une faible capacité d'acquisition du BIM. Enfin, la diffusion des bonnes pratiques organisationnelles et le rôle structurant des experts BIM doivent être encouragées.