

AAP 03.15 – Accompagnement de maîtres d'ouvrage publics et privés pour la réalisation d'opérations de constructions neuves en maquette numérique

Janvier 2019

Table des matières

Résumé exécutif	2
Introduction	3
1. Objectifs de l'appel à projets	3
2. Approche méthodologique.....	3
3. Chiffres-clés.....	4
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).....	6
5. Composition des lauréats.....	6
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 information	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	12
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	18

Résumé exécutif

Le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment a, dans le cadre de l'axe 1 de sa feuille de route opérationnelle, publié le 30 juin 2015 un appel à projets. **A destination des maitrises d'ouvrage publiques et privées**, il vise à soutenir des projets d'expérimentation de la maquette numérique et du BIM sur des **opérations de constructions neuves**. Cette expérimentation vise à comprendre les freins et leviers auxquels les parties prenantes sont confrontées d'une part, et à les entraîner dans une dynamique vertueuse d'apprentissage et d'appropriation du BIM.

L'utilisation de la maquette numérique lors de projets de construction permet d'exploiter de nombreux nouveaux usages, aux gains conséquents. Elle permet notamment de **générer des gains de productivité et de qualité importants** lors de la conception et de la construction d'ouvrages et réduire les conflits et délais lors du chantier. Elle favorise également une **compréhension globale du projet** de construction et **une gestion optimale du bâtiment** en phase exploitation.

Les **gains potentiels** liés au BIM ne sont cependant **pas encore exploités au maximum** car les acteurs de la construction ne maîtrisent pas encore complètement la méthodologie BIM, tandis que les outils numériques posent de nombreuses difficultés techniques. La maturité des entreprises vis-à-vis du BIM étant le principal levier de réduction des coûts, les **retours sur investissement se feront progressivement**, mais sont aujourd'hui difficiles à percevoir.

Le présent AAP est néanmoins un succès : il a su **se positionner en vecteur puissant de sensibilisation et de formation au BIM**, et a permis de recenser et d'expérimenter un certain nombre d'outils très divers, tout en identifiant des facteurs de succès et points de vigilance.

Cependant, des points de rupture ont été identifiés, pouvant mettre un frein à la généralisation du BIM en phase chantier :

- **D'un point de vue organisationnel**, les projets sont marqués par une réticence des équipes au numérique, jugé inutile ou trop difficile à appréhender, associée à des problèmes en termes de collaboration, de convention BIM et d'agenda de construction peu adapté au déploiement du BIM.
- **D'un point de vue technique**, d'importants problèmes d'interopérabilité entre logiciels et formats de maquette engendrent une perte de temps considérable au niveau de la modélisation de la maquette. Les porteurs projets notent également la difficulté d'appropriation des différents outils BIM.
- **D'un point de vue financier**, le coût d'acquisition et de déploiement du BIM reste élevé, en particulier pour les acteurs aux contraintes budgétaires et organisationnelles fortes.

Au vu des difficultés identifiées, **certaines recommandations d'ordre général** peuvent être émises :

- **Continuer l'investissement des pouvoirs publics** dans la transition numérique dans le bâtiment, qui permettent l'accompagnement méthodologique et financier d'un panel d'acteurs divers ;
- **Adapter les processus organisationnels** d'une opération de construction au BIM en modulant les temporalités de chaque phase, notamment au niveau de la phase études de conception et études d'exécution ;
- **Intégrer la démarche BIM au plus tôt** dans le processus de réalisation du projet de construction ;
- **Sensibiliser et former de manière conséquente tous les acteurs**, afin de permettre une meilleure intégration au BIM de l'ensemble des parties prenantes de l'écosystème d'un chantier ;
- **Diminuer le coût d'acquisition du BIM pour les acteurs aux ressources limitées** en proposant des formations et des outils accessibles financièrement et techniquement. Pour l'heure, le BIM exclut encore en grande partie les PME, les artisans et les petites collectivités qui ne disposent pas de moyens technologiques et humains suffisant.

Introduction

Le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment, mis en place en 2015 par le Ministère du Logement et de l'Habitat durable, a pour objectif global de **généraliser le déploiement du numérique** dans toute la filière du Bâtiment.

Cette transition numérique représente une opportunité pour l'ensemble des acteurs de la construction : les outils et processus BIM permettent notamment un accroissement de l'**efficacité opérationnelle**, une amélioration générale de la **qualité d'exécution** et une optimisation de la **maitrise des coûts**.

Le développement des processus BIM reste néanmoins à ses prémices, notamment pour les petites structures. Le PTNB cherche dans ce cadre à promouvoir l'utilisation de la maquette numérique sur tous types d'opérations de construction, en proposant un **accompagnement méthodologique à la fois technique, opérationnel et organisationnel**. La constitution d'opérations pilotes permet de tester les **conditions réelles de mise en œuvre de la maquette numérique**, et d'en valoriser les retours à l'attention de l'ensemble de la filière du BTP.

C'est pourquoi le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment a, dans le cadre de l'axe 1 de sa feuille de route opérationnelle, publié le 30 juin 2015 un appel à projets. **À destination des maitrises d'ouvrage publiques et privées**, il vise à soutenir des projets d'expérimentation de la maquette numérique et du BIM sur des **opérations de constructions neuves**.

1. Objectifs de l'appel à projets

Cet appel à projet (AAP) a pour but d'**expérimenter l'usage de la maquette numérique** et du BIM dans le cadre d'**opérations de constructions neuves** pilotes et expérimentales, de la phase programmation jusqu'à la phase exploitation/maintenance. Les projets soutenus par le PTNB doivent en particulier veiller à **développer un processus collaboratif** centré autour du BIM, qui puisse intégrer et entraîner l'ensemble des parties prenantes (maîtrise d'œuvre, bureau de contrôle, entreprises etc.) dans l'acte de construire. L'AAP ne mentionnait pas explicitement d'autres objectifs. En revanche, il précisait le type de projet souhaité. Pour rappel, il s'agissait de :

- Un bâtiment collectif à usage d'habitation réalisée par une maîtrise d'ouvrage publique ainsi que par une maîtrise d'ouvrage privée ;
- Un logement individuel réalisé par un constructeur de maisons individuelles ;
- Un équipement public structurant réalisé par une collectivité (commune, intercommunalité, département ou région) ;
- Un bâtiment tertiaire réalisé par une maîtrise d'ouvrage privée.

Les projets sélectionnés ont été soutenus afin de **tester en conditions réelles le déploiement de la maquette numérique** ainsi que l'appropriation des outils et des méthodes propres au BIM par les parties prenantes. Cette expérimentation permettra à la fois d'obtenir des retours d'expériences du terrain et de favoriser l'adoption du BIM et de la maquette numérique auprès des acteurs de la construction inexpérimentés dans ce domaine.

2. Approche méthodologique

L'objectif de l'AAP était d'**identifier des opérations de constructions neuves en BIM** de la phase programmation à la phase exploitation / maintenance **sur différents types d'ouvrages** : bâtiments collectifs à usage d'habitation, logements individuels et équipement public. Il était préconisé de sélectionner deux maitres d'ouvrage public, deux maitres d'ouvrage privé, et un constructeur de maisons individuelles. Permettant de représenter la diversité des opérations sur le terrain.

Plus de 30 réponses ont été déposées et évaluées par le Plan Transition Numérique dans le Bâtiment et un collège de membres du comité de pilotage. Les candidats devaient expliciter leurs démarches, en précisant notamment les **usages BIM** développés, et en décrivant le **processus collaboratif BIM** mis en place auprès des acteurs du projet. Il était demandé d'étudier particulièrement les **modes de sauvegarde**, de **gestion** et de **pérennité des données** utilisées lors des projets.

Les dossiers ont été instruits selon **quatre critères** :

- **Calendrier** (début du projet avant fin 2015) et **qualité de l'expérimentation** proposée ;
- **Compréhension** de l'expérimentation en vue d'une généralisation ;
- Capacité à **constituer une équipe projet** autour de la maquette numérique ;
- **Compétences** et **expériences** de l'équipe projet et de l'expert.

Au terme de ce processus, le comité de pilotage du PTNB a retenu **huit projets**, de natures très variées. Les lauréats devaient s'engager à remettre plusieurs livrables au PTNB au fur et à mesure de l'avancée de l'expérimentation, dans un souci de capitalisation des retours d'expérience :

- **Un livrable technique** : il s'agissait de présenter la faisabilité du projet, les conditions de succès et d'amélioration de l'opération en lien avec tous les aspects techniques de l'opération. Les lauréats devaient analyser étape par étape l'intégration du BIM, en identifiant les points forts et les améliorations à apporter aux processus d'utilisation et d'enrichissement de la maquette numérique ;
- **Un livrable organisationnel**, analysant les modifications organisationnelles induites par le déploiement de la maquette numérique. Les lauréats devaient porter particulièrement attention aux méthodes de collaboration et d'organisation des parties prenantes ;
- **Un livrable financier**, comprenant une synthèse financière de l'opération, et détaillant plus particulièrement l'impact économique de l'utilisation de la maquette numérique et des outils BIM sur l'équilibre financier du projet ;
- **Un livrable final**, comprenant conclusions et recommandations, points à améliorer et solutions pratiques.

3. Chiffres-clés

Huit projets ont été subventionnés par le PTNB au terme de l'AAP dédié à l'expérimentation du BIM sur des opérations de constructions neuves. Les projets sélectionnés sont situés dans les départements du Val d'Oise, Yvelines, Landes, Indre-et-Loire, Loire-Atlantique, Alpes-Maritimes et Bas-Rhin (*voir Figure 1*).

Ces projets se sont tenus dans des **contextes géographiques variés**, allant de petites communes rurales (Grand Champ, Saubion, Petit Mars, La Colle sur Loup) à des grandes villes (Strasbourg), en passant par des villes moyennes (Cergy-Pontoise, Mantes la Ville).



Figure 1 – Couverture géographique des projets lauréats

Le montant total d'aide accordé par le PTNB pour ces dix projets est de 610 000 €, soit 76 250 € en moyenne par projet. La subvention accordée par le PTNB couvre en général environ 50% du coût de

l'opération BIM. Le déploiement du BIM au sein du projet représente en moyenne un coût de 143 500€ par projet, soit environ 8% du montant total du projet.

4. Enjeux relatifs à l'intégration du BIM

Les opérations de construction sont par nature complexes, puisqu'elles sont soumises à de multiples contraintes, qu'elles soient techniques, opérationnelles, financières, temporelles, environnementales etc. Ces difficultés entraînent souvent des délais d'exécution, des défauts de qualité, des coûts supplémentaires ou encore des conflits et nuisances. Le déploiement du BIM et de la maquette numérique peut **répondre à ces problématiques en facilitant la gestion des données et la coordination entre acteurs**, à condition que les parties prenantes s'approprient les outils techniques ainsi que la méthode de travail BIM avec succès.

L'utilisation de la maquette numérique peut en effet **générer des gains de productivité et de qualité importants** lors de la conception et de la construction d'ouvrages et réduire les conflits et délais lors du chantier. Elle permet également d'**améliorer la compréhension globale du projet** de construction et de **faciliter la gestion du bâtiment** en phase exploitation. La maquette numérique a pour avantage de centraliser l'ensemble des plans tridimensionnels propres à un ouvrage. Chaque partie prenante peut donc la visualiser, la modifier et en extraire des données utiles. De même, les autres outils associés au BIM tels que les plateformes d'échanges collaboratives, les logiciels de calculs (thermiques et économiques), de suivi de projet et d'exploitation de bâtiment offrent de nombreux avantages en matière de structuration, de gestion et de pérennisation des données.

Toutefois, la mise en place du BIM et de la maquette numérique suscite de nombreuses **difficultés techniques et organisationnelles**. L'appropriation du BIM représente une véritable transition pour les acteurs du bâtiment. Ceux-ci doivent apprendre à utiliser des outils numériques complexes, à modifier leurs processus de collaboration et d'échange de données et à planifier les opérations de construction différemment, pour ne citer que quelques exemples de changements. Le manque d'expérience de ces acteurs, le coût d'appropriation du BIM, le manque d'interopérabilité et les imperfections des logiciels (liées à leur nouveauté) constituent des freins importants à l'utilisation efficace du BIM et de la maquette numérique.

Afin de résoudre ces problématiques, il convient d'**expérimenter cette transition numérique** afin d'obtenir des retours d'expériences d'acteurs sur le terrain. Le présent appel à projet vise précisément à comprendre les freins et leviers auxquels les parties prenantes sont confrontées d'une part, et à les entraîner dans une dynamique vertueuse d'apprentissage et d'appropriation du BIM d'autre part.

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

Les huit lauréats retenus sont :

- Le **département des Alpes Maritimes**, pour le projet « réalisation d'un gymnase au collège Yves Klein a la Colle-sur-Loup dans les Alpes Maritimes » ;
- Le **groupe Arcade**, pour le projet « réalisation de 63 logements collectifs à Mantes la Ville » ;
- L'**entreprise Tison & Gaillet**, pour le projet « construction d'une maison individuelle d'habitation sur la côte sud des Landes » ;
- L'**entreprise Geoxia Ingénierie**, pour le projet « maison individuelle industrialisée de plain-pied en secteur diffus dans le Grand Ouest » ;
- Le **bailleur social Habitat 44**, pour le projet « Le Dareau » ;
- L'**entreprise Arvor Immo**, pour le projet « construction de 18 logements intermédiaires et individuels bois » ;
- L'entreprise **La Compagnie Immobilière**, pour le projet « La Licorne » ;
- L'**organisation professionnelle FFB 95**, pour le projet « BIM pour tous ».

Le PTNB a sélectionné un **panel diversifié d'acteurs**, dont cinq entreprises privées, une collectivité, une organisation professionnelle et un bailleur social. Cette diversité d'acteurs était un critère retenu dans la méthodologie de sélection des lauréats : l'AAP ciblait à la fois les maitres d'ouvrage publics, les maitres d'ouvrage privés et les constructeurs de maisons individuelles. Cette pluralité d'acteurs et de chantiers permettait d'étudier la façon dont un certain type d'acteurs s'approprie le BIM, et de profiter de retours d'expérience sur un champ d'action plus large.

- **Arcade** est un groupe couvrant l'ensemble des métiers de l'immobilier, afin de développer une offre complète de logements résidentiels et de services. Le groupe a choisi d'expérimenter un processus BIM en phase conception et exécution sur une opération de construction de 63 logements, afin d'optimiser l'efficacité opérationnelle des entreprises responsables du projet, et améliorer la qualité générale d'exécution. La maquette lui permettait en outre de concevoir clairement et participer activement au projet de la maîtrise d'œuvre en phase conception, et de voir ses intentions retranscrites fidèlement en phase exécution.
- **Tison & Gaillet** est une entreprise générale du bâtiment, filiale du groupe Bernadet Construction. Elle cherchait, par le déploiement d'un processus collaboratif BIM sur un projet de construction de maisons individuelles pour un particulier, à évaluer sa montée en compétence en BIM, mais aussi de la filière BTP en général, au travers d'acteurs représentatifs et volontaires (BET, TPE et PME).
- La **Fédération Française du Bâtiment du Val d'Oise (FFB 95)**, premier syndicat du département, souhaitait utiliser la réalisation de ses nouveaux locaux, la « Maison du Bâtiment », comme projet démonstrateur et d'apprentissage du BIM. Effectuée en BIM par des acteurs locaux de la phase conception à la phase réalisation, l'opération « BIM pour tous » permettait de promouvoir l'utilisation de la maquette numérique à l'échelle du territoire du Val d'Oise, et d'aider ses maitres d'ouvrage, maitres d'œuvres et entreprises à adopter les bonnes pratiques en matière de BIM.
- Le **département des Alpes-Maritimes** est engagé depuis quelques années dans une démarche de transition vers une gestion numérique de l'ensemble de ses activités, y compris celles en lien avec son patrimoine bâti et son rôle de maîtrise d'ouvrage. Cet acteur a choisi de mettre en place un projet pilote et structurant de construction en BIM d'un nouveau gymnase pour un collège afin d'en apprendre davantage sur les outils et les méthodes propres au BIM. Ce projet de construction relativement simple était également une occasion pour les professionnels du bâtiment de la région de monter en compétences dans ce domaine.

- L'**entreprise Geoxia Ingénierie** est spécialisée dans la construction de maisons individuelles (notamment celles vendues « sur catalogue »), un marché fortement concurrentiel. Elle considère le développement du BIM comme un avantage compétitif stratégique pour son avenir. La construction d'une maison individuelle industrialisée de plain-pied à l'aide du BIM et de la maquette numérique lui a permis de stimuler cette politique interne de déploiement du BIM. A travers ce projet, Geoxia Ingénierie cherchait en particulier à améliorer l'efficacité, la traçabilité et la qualité de ses processus internes liés à la fois à la conception, la construction et la vente de maisons.
- Le **bailleur social Habitat 44** a impliqué, *via* un accord cadre, un groupement d'entreprises dans un projet pilote de construction de 108 logements sociaux modulaires, avec un engagement sur les coûts, la qualité et les performances des habitations. Dans ce cadre, Habitat 44 souhaitait expérimenter, avec l'aide d'un BIM manager, le déploiement des outils et processus BIM en phase APD/DCE sur un projet de construction de 19 logements sociaux, en concentrant en particulièrement ses efforts sur la maquette numérique.
- L'**entreprise Arvor Immo** souhaitait tester la méthode de travail de type OpenBIM dans le cadre de la construction de 12 logements à vocation sociale et à faible empreinte environnementale. La maîtrise d'ouvrage a veillé à s'associer avec le tissu local de PME du secteur de la construction de sorte qu'ils bénéficient de cette opportunité d'apprendre à utiliser en conditions réelles les outils BIM. L'objectif final est d'une part de favoriser la montée en compétences de ces entreprises et d'autre part d'améliorer la productivité et la qualité du travail effectué lors des phases conception et chantier.
- L'**entreprise La Compagnie Immobilière** s'est focalisée sur le déploiement du BIM en phase conception lors de la construction de 25 logements collectifs situés à Strasbourg. L'enjeu pour ce porteur de projet consistait à permettre à la maîtrise d'œuvre peu expérimentée d'apprendre à collaborer plus efficacement grâce au BIM, et à maîtriser les outils et processus propres au BIM.

6. Objectifs

Chaque projet tente de répondre à plusieurs objectifs définis par les lauréats :

- **Information et sensibilisation** : une grande partie des acteurs du BTP est encore réticente face à l'évolution des modes de transmission de l'information (papier vers numérique), et au BIM de manière plus général. C'est pourquoi une grande partie des projets lauréats prennent à cœur d'informer et sensibiliser les différents acteurs de la construction à l'intérêt du BIM. Le cœur du projet de la Fédération Française du Bâtiment du Val d'Oise centre notamment son projet autour de cet enjeu : informer et sensibiliser les acteurs du BTP de l'intérêt du BIM, afin de les pousser à s'y investir, mais aussi les acteurs publics locaux.
- **Formation** : accompagner la montée en compétence des acteurs du projet, et de la filière BTP en général, est essentiel pour de nombreux lauréats de l'AAP. Il est en effet nécessaire de former l'ensemble de l'écosystème de la construction, du maître d'ouvrage à l'ouvrier, afin que l'investissement en BIM sur le territoire français soit effectif. Pour le projet déposé par le groupe Arcade, l'expérimentation du BIM est ainsi l'occasion pour la maîtrise d'œuvre de monter en compétences, notamment au niveau de la modélisation et la bibliothèque d'objets intelligents BIM – compétences et outils qu'ils pourront déployer par la suite sur d'autres projets.
- **Déploiement technique** :

L'ensemble des projets se sont fixés pour objectif de rédiger une convention ou charte BIM qui détaillerait les attentes en matière d'utilisation du BIM en fonction des besoins et contraintes propres au projet. L'élaboration de ce document structurant est souvent l'aboutissement d'un travail de concertation et d'analyse des pratiques internes aux organisations impliquées sur le projet ainsi que de leur connaissance du BIM.

La conception de la maquette numérique de l'ouvrage à construire constitue un objectif central pour les porteurs de projet. La modélisation fine de certaines parties de l'ouvrage (ex : toiture, environnement direct, structure etc.), l'intégration de données utiles pour la suite du projet, la synthèse des différentes maquettes et enfin la détection des collisions représentent un défi technique important à relever, étant donné la nouveauté des outils BIM, leurs nombreuses imperfections et le manque d'expérience de la majorité des architectes et bureaux d'études.

L'utilisation de la maquette numérique répond à plusieurs objectifs spécifiques en fonction de l'étape du projet de construction. En phases études et conception, la visualisation de la maquette numérique par l'ensemble de la maîtrise d'œuvre permet d'améliorer la compréhension par chacun de la globalité du projet, de favoriser la collaboration entre acteurs, d'anticiper des problèmes en amont et de modifier la conception de l'ouvrage en conséquence. L'extraction simplifiée de données depuis la maquette en vue d'effectuer des calculs thermiques ou économiques constituait un autre objectif fixé par les porteurs de projet. Lors de la phase chantier, la maquette numérique doit permettre d'améliorer la qualité d'exécution, de diminuer les délais liés aux imprévus, et enfin d'accroître la productivité globale des travailleurs. Enfin, durant la phase exploitation de l'ouvrage, la maquette numérique doit simplifier la gestion du bâtiment ainsi que le suivi des opérations de maintenance.

Enfin, la bonne maîtrise des outils numériques propres au BIM tels que la plateforme d'échange collaborative, les logiciels de conception et de visualisation de la maquette ou encore de gestion de projet en BIM représentait un but à atteindre pour les lauréats.

- **Valorisation** : l'objectif « valorisation » comprend la valorisation des données générées et partagées pendant l'opération en vue de la maintenance du bâtiment, sous la forme d'un DOE numérique. Cet objectif concerne notamment le groupe Arcade, Habitat 44, Arvor Immo et FFB95. « Valorisation » signifie aussi la mise en valeur des retours d'expérience pour l'ensemble de la filière construction, en vue d'une montée en compétence globale des acteurs du BTP. La FFB 95 avait notamment la volonté de partager ses enseignements aux acteurs du BTP du Val d'Oise souhaitant se lancer en BIM. Le département des Alpes Maritimes, dans une logique similaire, a communiqué ses résultats auprès des professionnels du bâtiments et des élus de son territoire, mais lors du BIM d'Or 2016.

7. Type de bâtiment développé

Les bâtiments supports au déploiement des 8 projets sont :

- **Quatre bâtiments collectifs à usage d'habitation** :
 - Habitat 44 construit 19 logements sociaux à Petit Mars (Loire-Atlantique) ;
 - Le groupe Arcade – GIE Arcade Promotion a réalisé 63 logements collectifs à Mantes-La-Ville (Yvelines) ;
 - Dix logements collectifs et quatre maisons individuelles ont été construites à Grand Champ (Morbihan) par Arvor Immo ;
 - La Compagnie Immobilière a réalisé 40 logements collectifs à Strasbourg (Bas-Rhin).
- **Deux logements individuels par un constructeur de maison individuelle** :
 - Deux maisons individuelles ont été réalisées à Saubion (Landes) par Tison & Gaillet ;
 - Geoxia Ingénierie a construit une maison individuelle industrialisée de plain-pied.
- **Deux bâtiments tertiaires** :
 - Le Conseil Départemental des Alpes-Maritimes a réalisé la construction d'un gymnase dans un collège existant à la Colle Sur Loup (Alpes-Maritimes).
 - 1100 m² de bureaux à Cergy-Pontoise (Val d'Oise) ont été réalisés par la Fédération Française du Bâtiment du Val d'Oise (FFB 95).

8. Etapes du bâtiment où le BIM est intégré

Dans le cadre du présent appel à projet, les lauréats ont expérimenté l'intégration du BIM et de la maquette numérique à toutes les étapes composant une opération de construction nouvelle. L'expérimentation a en priorité porté sur le BIM en phases programmation et chantier, bien que deux projets aient également testé le déploiement du BIM en phase exploitation et usage :

- **Phase programmation/conception** : tous les projets ;
- **Phase chantier** : 6 projets sur 8 ;
- **Phase exploitation/usage** : 4 projets.

9. Intégration et implications des parties prenantes

A chaque phase d'un projet de construction en BIM, le **type de parties prenantes et leur mode d'association évoluent**. Les parties prenantes sont nombreuses sur les opérations de construction d'ouvrages neufs en BIM : la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre (architectes, bureaux d'études techniques), les prestataires et l'expert BIM (ou BIM manager) doivent collaborer efficacement pour mener le projet à bien.

Lors de la **phase programmation** d'une opération de construction, la maîtrise d'ouvrage, l'expert BIM et la maîtrise d'œuvre établissent systématiquement un diagnostic BIM reposant sur une analyse des contraintes et objectifs liés au projet de construction, de l'organisation interne des parties prenantes et des outils BIM à mettre en place. Le lauréat Habitat 44 a ainsi effectué un audit du degré de maturité BIM de ses collaborateurs, de leurs modes de fonctionnement interne ainsi que de leurs équipements informatiques dans le cadre de ce diagnostic. Cette analyse aboutit à la constitution d'une convention ou charte BIM qui détaille les objectifs BIM, le protocole d'échange de données, les ressources techniques et humaines à déployer ou encore les modalités du fonctionnement collaboratif tout au long du projet. Cette convention est revue puis validée par les parties prenantes une fois qu'ils se sont accordés sur ses termes.

Cette phase initiale permet également aux parties prenantes de poser les **fondations techniques et opérationnelles de leur future collaboration**. Ils s'accordent sur les logiciels BIM déployés, le format d'échange de données et le type de plateforme d'échange collaborative utilisé. L'ensemble de ces décisions garantissent l'efficacité de la collaboration entre acteurs et la qualité d'exécution lors des phases suivantes.

Par ailleurs, des **sessions de formation aux aspects techniques et opérationnels du BIM** sont généralement organisées en début de projet pour favoriser l'appropriation des outils BIM par les parties prenantes ainsi que leur coordination. Celles-ci peuvent également prendre lieu tout au long du projet pour répondre à des besoins spécifiques. L'expert BIM joue souvent un rôle continu d'appui technique et d'animation de ces séances de formation. Le BIM manager du projet « le Dareau » a par exemple organisé une journée de formation ainsi que huit réunions de travail collaboratif (du type formation/action).

Durant l'étape suivante de **conception de l'ouvrage neuf**, la production de la maquette numérique est le fruit d'un travail associant architectes, expert BIM et bureaux d'études techniques. En premier lieu, l'architecte se consacre à la modélisation de la maquette architecture/structure, tandis que les bureaux d'études se chargent de la création des autres maquettes (fluides, environnement direct, réseaux etc.). Ensuite, les différentes maquettes produites sont fusionnées en une seule maquette numérique grâce à un travail de synthèse technique. Cette phase délicate nécessite parfois d'effectuer des modifications sur les maquettes. Elle comporte également un travail de **détection des collisions** éventuelles entre ouvrages. Les bureaux d'études techniques et les économistes de la construction peuvent ensuite extraire les données depuis les maquettes pour effectuer des calculs thermiques, physiques et économiques.

Toutes ces activités impliquent une **collaboration étroite** entre architectes, bureaux d'études et l'expert BIM, qui repose notamment sur l'utilisation d'une plateforme d'échange collaborative, de formats d'échanges interopérables, et d'un écosystème de logiciels BIM (visualisation, conception, calculs etc.) performants. Ces outils garantissent l'efficacité de la **coordination entre acteurs** en facilitant l'échange de données, et ce à toutes les étapes d'un projet de construction. Le département des Alpes-Maritimes s'est lancé dans un projet innovant de salle de travail numérique spécialement équipée pour organiser les réunions

de projet avec la maîtrise d'œuvre et tirer profit au mieux des maquettes numériques grâce aux nombreux outils installés (poste 3D, casque pour la réalité virtuelle).

Lors des **phases conception et chantier**, la maquette numérique sert de **référentiel commun** à l'ensemble des parties prenantes (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, prestataires, expert BIM). Elle centralise toutes les données relatives au bâtiment en cours de construction, favorisant ainsi la compréhension de l'ouvrage (*via* sa visualisation en 3D) et les échanges entre parties prenantes. Ces fonctionnalités permettent aux acteurs d'anticiper des problèmes éventuels, d'extraire des plans en 2D, d'élaborer un DCE ou encore de modifier aisément la conception de l'ouvrage en fonction des problèmes rencontrés par exemple.

Au cours de toutes ces phases, **l'expert BIM (ou BIM manager)** assure un **rôle d'animation, de coordination et d'appui technique** sur l'ensemble du projet de construction. Par conséquent, il travaille étroitement avec l'ensemble des parties prenantes, en particulier la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage. Son objectif global est de favoriser la mise en œuvre des processus techniques et organisationnels propres au BIM.

10. Technologies déployées

Les **technologies déployées** par les différents projets **évoluent en fonction des usages BIM** prévus par la convention. Les usages BIM développés lors de cet AAP concernent notamment la modélisation, la visualisation de la maquette numérique, simulation/calculs thermiques, la détection et la gestion de conflits entre maquettes et l'économie de projet.

De nombreux logiciels ont été utilisés en phases études de conception et d'exécution :

- Les architectes ont, au cours des études de conception, notamment utilisé **ArchiCAD** (Arcade, All Plan) et **All Plan** (Arvor Immo, Compagnie Immobilière FFB 95, Tison&Gaillet), logiciel pouvant aussi être utilisé en phase d'études d'exécution.
- Les bureaux d'études, dans le cadre des études d'exécution, ont utilisé en grande majorité le logiciel **Autodesk Revit**, excepté Arvor Immo et FFB95. D'autres logiciels ont été déployés pour la modélisation de lots spécifiques :
 - **Plancal Nova**, logiciel intégrant conception, dessin et calcul technique pour le CVCSE (Chauffage, Ventilation, Sanitaire, Electricité), a été utilisé par le département des Alpes Maritimes et Arvor Immo.
 - **Tekla Structure** a été adopté par FFB95 pour la charpente métallique, et **Cadwork** par Habitat 44 pour les lots charpente bois.
 - **SolidWorks** a été déployé spécifiquement par le groupe Arcade pour modéliser les garages.
 - Geoxia Ingénierie s'est basé sur **Autodesk Inventor** pour la conception mécanique.
 - **Mensura**, logiciel proposant des solutions complètes de conception pour l'infrastructure VRD, et **Covadis**, logiciel de topographie, de terrassement, d'infrastructure-VRD et de génie civil dans l'environnement, ont été déployés par Habitat 44.

Les échanges entre ces différents logiciels se sont toujours produits en **IFC**.

En phase chantier, plusieurs usages ont été déployés :

- **Visualisation de la maquette** : Les visualiseurs 3D les plus utilisés sont **Tekla BIM Sight** (Tison&Gaillet, FFB95, Compagnie Immobilière, Habitat 44) et **Solibri Model Viewer** (Habitat 44, Arvor Immo). Habitat 44 a aussi déployé **BIM Vision** et **EveBIM**, le département des Alpes Maritimes a utilisé **Autodesk A360** et une plateforme web, et le groupe Arcade s'est servi de **Navisworks** pour visionner ses maquettes.
- **Simulation/gestion de conflits** : les logiciels adoptés pour la détection et gestion de conflits entre maquettes sont spécifiés dans les projets du groupe Arcade, du département des Alpes Maritimes et de l'entreprise Tison&Gaillet. Les lauréats ont tous utilisés **Navisworks**. Les usages de calculs et simulations thermiques sont spécifiés dans les projets de Geoxia Ingénierie, Arvor Immo, FFB95 et

Compagnie Immobilière. Ceux-ci utilisent **ClimaBIM** et **Pleiades** pour Geoxia, **ClimaWin** pour Arvor Immo et FFB95, et le logiciel **CYPE** pour la Compagnie Immobilière.

- **Gestion de projet** : cet usage a été déployé seulement par le FFB95, avec la solution **BIM/Office**. Ce logiciel permet un suivi de production par **une planification 4D** des projets.
- **Economie de projet** : trois projets ont mentionné l'utilisation de logiciels pour l'économie de projet : Compagnie Immobilière, Arvor Immo et FFB95. FFB95 a eu recours au logiciel **Winquant d'Attic+**. Winquant est utilisé pour des analyses économiques : il permet d'établir des estimations et métrés par saisie graphique 3D. Il propose d'éditer automatiquement des plans de repérage et de tableaux récapitulatifs par corps d'état ou par localisation. Arvor Immo et la Compagnie Immobilière se sont tous deux servis du logiciel **DeviSOC**, qui permet aussi le calcul de quantités et la création de métrés.

En parallèle de ces logiciels, certains lauréats ont investi dans du **matériel support spécifique au BIM** : ainsi du département des Alpes Maritimes, qui a financé une salle de travail numérique équipée (visioconférence, poste 3D et casque pour la réalité virtuelle) pour recevoir les réunions de projet et mieux visualiser les maquettes numériques, ou de l'entreprise Tison & Gaillet qui s'est associé avec le technopôle Domolandes, afin d'utiliser son espace collaboratif.

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

Tous les lauréats ont eu recours à une plateforme collaborative pour gérer et sauvegarder les données, excepté Tison & Gaillet et Geoxia Ingénierie. Les différentes solutions utilisées sont :

- Le service de stockage et de partage de fichiers **Dropbox**, ainsi qu'**Autodesk Building Design Suite Premium** par le département des Alpes Maritimes ;
- Une plateforme d'échange collaborative **SVN** par le groupe Arcade ;
- La plateforme d'échange collaborative **BIM Sync** et le service de stockage et de partage **Dropbox** par Habitat 44 ;
- La plateforme d'échange collaborative **BIM Sync** par Arvor Immo et FFB95 ;
- Utilisation des services de stockage des données **Dropbox** et **WeTransfer** par la Compagnie Immobilière.

Analyse de l'appel à projet

12. Coûts de déploiement

Le déploiement du BIM et de la maquette numérique engendre deux grands types de coûts pour les entreprises. Il s'agit de dépenses en :

- **Equipements** : logiciels, matériels informatiques, licences etc. ;
- **Personnels** : formation des équipes, réunions, honoraires et prestations etc.

Dans le cadre de cet AAP, **l'investissement en équipements nouveaux représentait en moyenne 18% des dépenses totales liées au BIM, contre 82% pour les dépenses en personnels**. La prépondérance des coûts en personnels s'explique notamment par le fait que la majorité des parties prenantes étaient déjà impliquées dans une démarche de déploiement du BIM en interne. Ils disposaient déjà souvent du matériel informatique et des logiciels adaptés au BIM et à la maquette numérique. L'essentiel des dépenses concernait donc le personnel, que ce soit pour la rémunération de ses prestations ou sa formation.

Ces chiffres doivent néanmoins être traités avec du recul. En effet, ils concernent seulement six projets sur les huit existants, puisque deux lauréats ne nous ont pas transmis leurs chiffres détaillés concernant ces dépenses. Par ailleurs, ils **masquent quelques différences notables entre projets**. Ainsi, contrairement aux autres projets, le coût en équipements était supérieur aux dépenses en personnels (63% contre 37% respectivement) pour le projet « réalisation d'un gymnase au collège Yves Klein à la Colle-sur-Loup » porté par le département des Alpes-Maritimes. Ceci reflète l'effort consenti par le département en matière d'acquisition d'équipements informatiques, qui amorce un processus interne plus large de transition vers une gestion numérique de son patrimoine bâti dans le but de se moderniser. Ainsi, une salle de travail numérique équipée de postes informatiques 3D, de casques en réalité virtuelle et de matériels pour les visioconférences a été aménagée dans ce cadre-là.

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

Les lauréats ont identifié, suite à la réalisation de leurs projets, les intérêts associés à l'intégration du BIM en phase chantier :

- Une **meilleure compréhension du projet** par toutes les parties prenantes ;
- Une **collaboration facilitée et optimisée** entre les différents acteurs du projet ;
- Un **gain de temps considérable**, dû à l'automatisation de certains processus : processus techniques (détection et gestion des conflits entre ouvrages), autant que processus managériaux (suivi de production automatisée, planning 4D, économie de projet etc.) ;
- Une **amélioration globale de la qualité** des ouvrages.

Si les lauréats s'accordent sur l'existence d'**importants gisements d'économie** liés à l'intégration du BIM en phase chantier, cette **rentabilité est aujourd'hui difficilement quantifiable financièrement**. C'est cependant une des attentes majeures de tous les acteurs du projet.

14. Difficultés et leviers d'action

Diverses difficultés ont été rencontrées lors du déploiement des projets, d'ordre organisationnel, technique et financier. Si ces difficultés ont souvent freiné l'implémentation du processus BIM, elles sont **riches d'enseignements** et particulièrement utiles pour les acteurs du BTP souhaitant s'investir en BIM.

D'un point de vue **organisationnel**, les grandes difficultés rencontrées par les lauréats sont :

- Une **convention BIM insuffisamment développée ou implantée trop tardivement**. Une convention BIM pertinente en amont d'un projet de construction est une des clés essentielles à la bonne réussite d'un projet en BIM. Il est néanmoins arrivé à certains lauréats d'implanter la charte

trop tardivement, ou de rédiger une convention insuffisamment détaillée. Cela avait souvent pour conséquence un manque de respect des règles BIM préétablies et des problèmes d'interopérabilité entre maquettes. Ainsi, la convention BIM du projet du département des Alpes Maritimes a été rédigée trop tardivement pour qu'elle soit réellement efficace. Ce retard est dû à une implication insuffisante des différents partenaires, en raison de la nouveauté de l'intégration de ce document dans le processus de production. La création du document s'est étalée sur les phases d'études, alors qu'il aurait dû accompagner leur bon déroulement. Cela a eu pour conséquence des problèmes d'interopérabilité plus en aval du projet.

- **Une réticence face au numérique.** L'investissement en BIM pour une entreprise résulte en une évolution profonde des méthodes de travail et d'organisation des acteurs concernés : changement du format papier vers le format numérique, évolution des rôles et de la hiérarchie au sein d'un chantier, différentes temporalités de construction etc. Les acteurs sont souvent réticents à cet ajustement, jugé inutile, ou même méfiants à l'égard du numérique et de ses conséquences. Habitat 44 proposait ainsi des journées de coworking et de formation aux différents outils BIM : il lui a été très difficile de mobiliser l'ensemble des parties prenantes et de les faire participer, malgré l'utilité de la démarche.
- **Un fonctionnement collaboratif difficile à mettre en place.** Cette réticence face au changement a des conséquences importantes sur l'implémentation d'un processus BIM, notamment en termes de collaboration. Cet investissement disparate des acteurs engendre des niveaux de maturité BIM hétérogènes au sein d'un même projet. Le manque d'expérience de certaines parties prenantes entrave la coordination entre acteurs, nécessaire à l'avancement d'un projet. Ainsi, le département des Alpes Maritimes n'a pu impliquer tous les métiers en BIM : les modèles Structure, Aménagements paysagers et VRD n'ont pu être intégrés en mode BIM 2.0, du fait du manque d'expérience des partenaires en charge de ces lots. A une autre échelle, Arvor Immo soulève le problème de formation des petits artisans. Les connaissances insuffisantes en BIM de ces acteurs obligent l'architecte et la maîtrise d'œuvre à se porter garant de la mise à jour et de la conformité de leur travail à la maquette numérique.
- **Une organisation traditionnelle de l'agenda de construction non adaptée au BIM.** Les plannings auxquels doivent se soumettre les lauréats ne correspondent pas à la réalité du BIM. Les études de conception et d'exécution en BIM, plus poussées, demandent beaucoup plus de temps que des démarches traditionnelles de construction. Cette contrainte freine la montée en compétences des acteurs, qui se tournent souvent vers des contractuels ou renoncent à participer au projet en BIM. Ce manque de temps nuit en outre à la qualité des maquettes, et se répercute sur la qualité du projet et l'efficacité de l'opération. Les délais de démarrage et de préparation de chantiers restent également inchangés. Les lauréats n'ont pas le temps de former leurs équipes travaux, poussant au recours aux sous-traitants, au désintéressement du BIM par les équipes travaux, ou à des problèmes d'interopérabilité. Arvor Immo a expérimenté une situation semblable. L'entreprise en charge du lot « Fluides » avait, préalablement au projet, de l'expérience en modélisation 3D. Elle ne connaissait néanmoins pas les procédés propres au processus collaboratif du BIM, et ne disposait pas du temps nécessaire pour se les approprier. Cela a engendré des problèmes de recalage entre la maquette Fluides et les autres maquettes.

D'un point de vue **technique**, les difficultés sont :

- **Une interopérabilité imparfaite.** Une bonne interopérabilité entre logiciels et maquettes est un facteur important de réussite d'un projet en BIM. L'efficacité d'un investissement en BIM repose en effet sur la capacité des différents outils à opérer ensemble, les acteurs du projet travaillant sur différents logiciels et maquettes qu'il faut ensuite synthétiser. Or, l'interopérabilité des formats de maquettes a été jugée imparfaite par un nombre important de porteurs de projet. Ceux-ci ont pourtant privilégié l'usage du format IFC, facilitant l'échange fluide de données entre différents logiciels. Ce format ne s'avère néanmoins pas parfaitement interopérable. Arvor Immo a, en particulier, rencontré de nombreuses difficultés dans l'export IFC à partir du fichier natif architecte,

entraînant un retard non négligeable. La Compagnie Immobilière et Arvor Immo ont en outre rencontré des difficultés d'interopérabilité entre le logiciel Vectorworks, outil 2D, et Revit, logiciel de modélisation 3D.

- **Une difficulté d'appropriation des outils BIM.** Les outils BIM, par leur complexité et leur multiplicité, sont difficiles à appréhender pour les différents acteurs du BTP. Beaucoup estiment que leur complexité, associée à un manque d'expérience de certaines parties prenantes, favorise le délaissement du BIM et freine son adoption par certains acteurs. Il a été difficile au département des Alpes Maritimes de choisir et d'imposer des logiciels BIM faciles d'utilisation et satisfaisants l'ensemble des parties prenantes. A cela s'ajoute le choix d'outils en début de projet peu pertinents : l'utilisation de Dropbox comme plateforme collaborative par plusieurs lauréats a souvent été jugé insatisfaisante, notamment en termes de sécurité des données.

D'un point de vue **financier**, les difficultés sont relatives aux coûts d'investissement importants en BIM, point développé plus en avant dans la partie « Analyse financière de l'intégration du BIM ».

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

15. Analyse financière de l'intégration du BIM

Le BIM et la maquette numérique bouleversent les modes de fonctionnement des acteurs du bâtiment et la conduite des opérations de construction. Le déploiement des processus et outils BIM représente un **coût** non-négligeable pour les parties prenantes, que ce soit pour **l'acquisition d'équipements informatiques** (matériel, logiciels, licences, développement informatique etc.) ou la **mise à niveau du personnel** (formation, embauches, réorganisations etc.).

Le passage au BIM engendre également des **surcoûts non-anticipés** par les parties prenantes. Lors de la phase conception en particulier, les difficultés techniques liées au manque d'interopérabilité entre logiciels, à la modélisation et la synthèse des maquettes numériques ou encore aux imperfections des logiciels de conception contraignent les architectes et les bureaux d'études à **suivre des formations**, à **acheter de nouvelles licences ou suites logicielles**, à **travailler davantage** ou encore à **organiser plus de réunions**. Par exemple, le lauréat Arvor Immo constate que les difficultés liées au manque d'interopérabilité et à la codification et l'export de données ont engendré des surcoûts d'étude pour l'architecte. Cet acteur rapporte que l'utilisation inefficace de la plateforme d'échange collaborative pour l'échange de données et la collaboration a entraîné des délais aux impacts financiers non négligeables. De même, la Compagnie Immobilière estime que la surcharge de travail engendrée par l'appropriation de l'outil de modélisation et la résolution de plusieurs problèmes techniques à environ 10 000€ en termes des jours supplémentaires de travail en phase APD.

Ces coûts supplémentaires sont particulièrement **difficiles à assumer par les entreprises de petite taille**, puisqu'elles sont souvent caractérisées par de fortes contraintes budgétaires ainsi que par des moyens humains, technologiques et organisationnels limités.

Néanmoins, les outils et la méthode de travail collaborative BIM offrent de nombreux **avantages susceptibles de diminuer le coût global** des opérations de construction neuve. Plusieurs porteurs de projet – en particulier la Compagnie Immobilière - reconnaissent que le BIM fiabilise les études et améliore donc la qualité d'exécution du projet de construction. Ces gains de qualité et de productivité sont encore loin d'être pleinement exploités par les acteurs de la construction, puisqu'ils se situent encore en phase d'apprentissage.

Les lauréats s'accordent sur la **difficulté d'estimer** à la fois les **surcoûts** engendrés par le passage au BIM et les **retours sur investissement**. Les bénéfices sont difficilement quantifiables car le BIM bouleverse de nombreuses pratiques, modifie le phasage des opérations de construction et change la collaboration entre parties prenantes. De même, il n'est pas aisé de mesurer les coûts liés à l'acquisition du BIM, puisque l'investissement en formation et en équipements sera partagé sur de nombreux projets. Par ailleurs, à mesure que les acteurs de la construction auront gagné en maturité BIM, que les méthodes de travail collaborative se seront répandues et enfin que l'écosystème d'outils numériques se sera amélioré d'un point de vue technique, les bénéfices liés au BIM (en termes de gains de productivité et de qualité) prendront de l'ampleur.

16. Succès de l'expérimentation

L'expérimentation du BIM et de la maquette numérique dans le cadre d'opérations de constructions neuves a fait ressortir de nombreux obstacles auxquels les participants ont dû faire face. Mais elle a également permis de mettre en avant les facteurs contribuant au succès des projets. Il s'agit de facteurs organisationnels et humains d'une part, et de facteurs techniques d'autre part.

La bonne **gestion** des tâches et des ressources humaines est la clé de réussite des projets de construction effectués en BIM. Il est ainsi possible de distinguer plusieurs facteurs de réussite d'ordre **organisationnels** :

- **L'accompagnement des parties prenantes par un BIM manager** expérimenté tout au long du projet a été perçu comme un atout important par la majorité des lauréats. **L'appui technique** continu qu'il peut apporter en phases programmation et conception en particulier est vital, puisque de

nombreux maîtres d'œuvres (architectes, bureaux d'études techniques) sont confrontés à des difficultés techniques qu'ils ne pourraient surmonter rapidement sans son aide. Sa contribution à la mise en place d'une **méthode de travail en mode BIM** ainsi que sa capacité de **structuration des échanges et des données** permet aux parties prenantes de collaborer efficacement et sereinement. Ceci passe notamment par l'animation de réunions ou de séances de formation au BIM. Ainsi, les lauréats Arcade, La Compagnie Immobilière et le Département des Alpes-Maritimes ont particulièrement salué l'aide apportée par le BIM manager. Des experts externes peuvent également apporter un appui sur certaines problématiques, comme dans le cadre des projets portés par FFB 95 et par Geoxia par exemple ;

- La définition ainsi que la **répartition efficace des tâches et des rôles** attribués à chacun déterminent en grande partie le succès des opérations de construction en BIM. L'organisation claire des attributions de chacun fluidifie la collaboration et évite ainsi les risques de conflits entre acteurs. La convention BIM, la maîtrise d'ouvrage et le BIM manager sont en grande partie responsables de ces aspects organisationnels ;
- Le **niveau de maturité BIM des parties prenantes** est un autre facteur clé de réussite. La connaissance des outils et des méthodes de travail BIM ne sont pas des acquis pour tous les acteurs en début de projet, puisque ceux-ci se sont engagés - *via* cet appel à projets du PTNB - dans une démarche d'expérimentation en vue d'apprendre ces savoirs. Néanmoins, ces **lacunes peuvent être comblées** grâce à des sessions de formation, la diffusion de bonnes pratiques entre parties prenantes et un processus d'apprentissage en continu et en conditions réelles. Les parties prenantes du projet « Le Dareau » ont ainsi bénéficié d'une journée de formation à la méthode de travail et aux outils BIM (utilisation de la plateforme d'échange collaborative et des visionneuses notamment) en vue de les mettre à niveau ;
- Le type de **méthode d'expérimentation** déployée contribue également au succès du projet de construction. Certains modes d'expérimentation permettent en effet de mettre en place un processus vertueux d'apprentissage et de résolution de problèmes. Ce fut notamment le cas dans le cadre du projet porté par l'entreprise Geoxia, où les acteurs s'étaient accordés à respecter une succession de *proof of concept* avec des itérations régulières en vue d'actualiser régulièrement les tests à effectuer en fonction des résultats obtenus à chaque étape. De même, dans le cadre du projet porté par l'entreprise Arvor Immo, chaque architecte ou membre d'un bureau d'étude était tenu d'effectuer des contrôles de la conformité des maquettes sous formats IFC et natif avant de les déposer en vue d'éviter les problèmes d'interopérabilité ;
- Enfin, **l'enthousiasme et la volonté d'apprendre** des parties prenantes sont des déterminants essentiels à la réussite des projets. La collaboration entre intervenants est d'autant plus étroite et enrichissante lorsque ceux-ci sont motivés. De même, la volonté de résoudre les multiples problèmes qui surviennent et de modifier ses pratiques dépend également du dynamisme des acteurs.

Les facteurs **techniques** contribuent également au succès de l'expérimentation :

- Le **bon fonctionnement de certains logiciels BIM** constitue un avantage indéniable pour la maîtrise d'œuvre, la maîtrise d'ouvrage et les prestataires, puisqu'ils accroissent la **productivité** et la **qualité** du travail effectué, tout en facilitant les échanges de données ainsi que leur sauvegarde et leur traçabilité. Bien que les parties prenantes soulignent plus souvent les difficultés techniques qu'ils ont rencontrés en utilisant les logiciels, il arrive également qu'ils saluent l'efficacité et l'ergonomie de certains outils BIM. Les architectes collaborant dans le cadre du projet « Les Hauts de Brabant – Grand Champ – construction de 18 logements intermédiaires et individuels bois » ont ainsi pu apprécier l'utilité et le bon fonctionnement des logiciels de modélisation architecte, fluides et structure.
- La qualité intrinsèque des logiciels n'est pas suffisante toutefois pour garantir la réussite technique des projets. En effet, leur bonne **appropriation et utilisation** dépendent également de la **maturité**

BIM de leurs utilisateurs, de leur motivation et de leur capacité à résoudre facilement les difficultés techniques rencontrées. Ainsi, les participants du projet « La Licorne » ont salué la performance des outils de visualisation des maquettes et de détection des clashes, qui favorisent les échanges et les décisions et contribuent à améliorer la qualité de conception. La qualité des logiciels a pu être exploitée au maximum grâce au dynamisme et aux bonnes capacités d'apprentissage de la maîtrise d'œuvre.

Conclusion générale

Le PTNB cherchait, par ce présent AAP, à **tester les conditions réelles de mise en œuvre de la maquette numérique** et du BIM auprès de maîtrises d'ouvrage publiques et privées, sur des opérations de constructions neuves. Ces différents projets ont pu **évaluer la pertinence du déploiement d'un processus BIM sur des opérations variées** : construction de maisons individuelles, réalisation de logements collectifs, réalisation d'équipements publics etc. Cela a également permis d'**expérimenter de façon concrète le BIM et ses outils**, en apportant des retours d'expérience nécessaires, autant d'un point de vue technique qu'organisationnel ou financier.

Le BIM et la maquette numérique peuvent apporter de **nombreux bénéfices** en termes de **gains de productivité, d'amélioration de la qualité et d'efficacité dans la collaboration** entre parties prenantes, et ce à toutes les phases d'une opération de construction ainsi qu'en phase exploitation du bâtiment, à condition que l'ensemble des acteurs **maîtrisent correctement les nouvelles méthodes de travail et les outils numériques** propres au BIM. L'échange, la structuration et la sauvegarde de données sont facilités par la mise en place de plateformes d'échanges collaboratives, la rédaction d'une charte BIM et l'utilisation de formats interopérables. La **maquette numérique** est le fruit de cet effort collaboratif entre maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage et BIM manager. Celle-ci rassemble toutes les données utiles pour la construction, la compréhension et la gestion d'un bâtiment, de manière interactive.

Cependant, des points de rupture ont été identifiés, pouvant mettre un frein à la généralisation du BIM en phase chantier :

- **D'un point de vue organisationnel**, les projets sont marqués par une réticence des équipes au numérique, jugé inutile ou trop difficile à appréhender. Cette réticence, associée à d'autres facteurs, est à la source d'un niveau de maturité BIM hétérogène entre les acteurs d'un projet, et pose des problèmes en termes de collaboration, inhérente au déploiement d'une démarche BIM. Cet aspect, peu valorisé, est pourtant essentiel à un processus BIM efficace. Ces dysfonctionnements organisationnels sont renforcés par une convention BIM développée trop tardivement, ou trop peu détaillée. Enfin, l'agenda traditionnel de construction est peu adapté au déploiement du BIM, dont les temporalités sont différentes d'une méthodologie de construction traditionnelle.
- **D'un point de vue technique**, d'importants problèmes d'interopérabilité entre logiciels et formats de maquette engendrent une perte de temps considérable au niveau de la modélisation de la maquette. Les porteurs de projets notent également la difficulté d'appropriation des différents outils BIM, due à leur complexité, leur multiplicité et le manque général de connaissances en BIM. Cette difficulté est renforcée par des choix d'outils parfois peu pertinents.
- **D'un point de vue financier**, le coût d'acquisition et de déploiement du BIM reste élevé, en particulier pour les acteurs aux contraintes budgétaires et organisationnelles fortes. Les gains potentiels liés au BIM ne sont pas encore exploités au maximum car les acteurs de la construction ne maîtrisent pas encore complètement la méthodologie BIM, tandis que les outils numériques posent encore de nombreuses difficultés techniques. Néanmoins, avec la montée en compétence des acteurs et la résolution des problèmes d'interopérabilité, la rentabilité du BIM devrait tendre à s'accroître.

Au vu des difficultés identifiées, **certaines recommandations d'ordre général** peuvent être émises :

- **Maintenir l'investissement des pouvoirs publics** dans la transition numérique dans le bâtiment, qui permet l'accompagnement méthodologique et financier d'un panel d'acteurs divers, aux budgets et ressources humaines souvent restreints ;
- **Adapter les processus organisationnels** d'une opération de construction au BIM en modulant les temporalités de chaque phase, notamment au niveau de la phase études de conception et études d'exécution ;

- **Intégrer la démarche BIM au plus tôt** dans le processus de réalisation du projet de construction ;
- **Sensibiliser et former de manière conséquente tous les acteurs**, afin de permettre une meilleure intégration au BIM de l'ensemble des parties prenantes de l'écosystème d'une opération de construction ;
- **Diminuer le coût d'acquisition du BIM pour les acteurs aux ressources limitées** en proposant des formations et des outils accessibles financièrement et techniquement. Pour l'heure, le BIM exclut encore en grande partie les PME, les artisans et les petites collectivités qui ne disposent pas de moyens technologiques et humains suffisant.