

Le BIM, une technologie de rupture

Le Building Information Modeling, Model Management (BIM) est souvent qualifié de technologie de rupture. Dans ce chapitre, nous allons voir qu'il s'inscrit dans la continuité des innovations du secteur de la construction sur le plan technique (Conception Assistée par Ordinateur) et organisationnel (évolution de l'organisation du travail). Cependant, il s'agit d'une technologie de l'information et de la communication qui est en important décalage avec les méthodes de travail actuelles du secteur de la construction.

Dans un premier temps, nous allons positionner le BIM par rapport à l'histoire des technologies pour la construction. Ensuite, nous allons voir en quoi il est en rupture avec les méthodes de travail actuelles. Enfin, nous évoquerons les raisons pour lesquelles les États à travers le monde souhaitent inciter les acteurs du secteur à adopter cette technologie, et évoquerons leurs stratégies incitatives.

2.1 BIM : une continuité avec les précédentes innovations du secteur de la construction

Dans cette partie, nous revenons sur l'évolution du dessin et de la conception assistée par ordinateur. Nous montrons ainsi en quoi le BIM s'inscrit dans une continuité naturelle des évolutions technologiques passées du secteur de la construction et de la société dans son ensemble. Nous montrons également en quoi il est en phase avec le développement actuel de l'industrie 4.0.

2.1.1 La naissance et l'évolution de la CAO.

Dans cette partie, les moments clés de la constitution de la CAO du secteur de l'architecture sont exposés. Ils sont nécessaires pour comprendre l'émergence du « BIM » et les réactions qu'il suscite aujourd'hui²⁰.

2.1.1.1 La CAO pour l'architecture est née dans les années 80

La naissance de la DAO-CAO : les industries automobile et aéronautique en première ligne

Pendant la Seconde Guerre mondiale, la course aux nouvelles technologies est un enjeu politique, a accéléré le développement des technologies de calcul. En 1945, à la fin de la guerre, le premier ordinateur est commercialisé. Très coûteux et volumineux, il est édité en peu d'exemplaires et est réservé aux grandes entreprises. À la fin des années 1950 - début des années 1960, les premiers logiciels ancêtres des solutions de Dessin Assistée par Ordinateur (DAO) voient le jour dans les laboratoires de recherche. Très vite, et dès le milieu des années 1960, les premières générations de logiciels de DAO en 2 dimensions sont utilisées dans l'industrie. Ils sont principalement **développés par des industriels** du secteur automobile **pour leur propre utilisation** (Tornincasa, Di Monaco 2010). Au début des années 1970, des systèmes de **modélisation 2D** sont **commercialisés** ; ils sont achetés notamment par les secteurs aéronautique et électrique qui commencent à développer des logiciels de **modélisation 3D**. L'entreprise française d'armement et d'aéronautique Dassault systèmes (connue alors encore sous la dénomination « Avion Marcel Dassault ») développe l'ancêtre du logiciel de modélisation 3D CATIA dès 1977, commercialisé un an plus tard (Tornincasa, Di Monaco 2010).

²⁰ Contrairement à l'historique présenté par Antoine Picon dans son travail sur la culture numérique en architecture, celui qui est présenté ici est centré sur la période après les années 70. Antoine Picon a travaillé sur le lien entre informatisation et **production architecturale** (objet architectural) (Picon 2010b), tandis que notre travail concerne le lien entre informatisation et **conditions de production architecturale** (méthodes, outils et organisation du travail).

Les années 80 : l'essor de la CAO spécialisée pour l'architecture

Les premières interfaces graphiques des ordinateurs sont développées au milieu des années 1970 et début des années 1980. Les premiers mini-ordinateurs et les premiers ordinateurs personnels (moins chers et produits en grande quantité) sont alors commercialisés : c'est le début de la marche vers la démocratisation de l'informatique.

À partir des années 1980, le marché des logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) explose. Des **sociétés d'édition de logiciels** développent et commercialisent des solutions CAO pour leurs clients. Entre 1983 et 1985, des logiciels de dessin et modélisation dédiés à l'architecture font leur apparition (voir **Tableau 1**).

Tableau 1. Date de commercialisation des premières versions des logiciels

| <i>Date</i> | <i>Nom du logiciel</i> | <i>Référence</i> |
|-------------|---|------------------------------|
| 1983 | AutoCAD (Autodesk avait été créé en 1982) | (Tornincasa, Di Monaco 2010) |
| 1984 | Allplan, logiciel de CAO destiné aux architectes et ingénieurs | (ALLPLAN 2020) |
| 1984 | ArchiCAD (alors encore nommé Radar CH) | (Kmethy 2010) |
| 1985 | Vectorworks (qui s'appelait alors encore MiniCad) | (FreeCAD 2013) |
| 1999 | Revit | (Hurley 2008) |

Avant ces outils, on dessinait sur les outils de DAO avec des composantes du dessin à la main comme des traits, des hachures ou des surfaces. La vague des outils de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) des années 80 amène le dessin 3D avec des objets architecturaux comme des murs, dalles ou encore des poteaux que l'on paramètre. **Ces outils marquent le début de la modélisation architecturale orientée objet** (Eastman et al. 2008).

La commercialisation de ces logiciels par des éditeurs dans les années 80 marque le passage d'une **logique de programmation** (où chaque entreprise développe ses propres outils) à une **logique d'édition** (où un éditeur propose des outils pour ses clients qui n'ont donc pas à le développer) (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). Ce basculement est un tournant important dans l'histoire de la CAO et dans la démocratisation des outils numériques. Les logiciels ne sont plus faits sur mesure pour chaque client : ils deviennent des solutions « standards » avec des possibilités de paramétrage. À la même période, les premiers ordinateurs personnels arrivent sur le marché : moins onéreux, ce matériel et ces logiciels « clé en main » deviennent accessibles²¹ aux petites et moyennes entreprises qui ne pouvaient pas les développer elles-mêmes. Cette période correspond donc au début de la standardisation des moyens de conception et de dessin assisté par ordinateur.

²¹ La notion d'accessibilité est relative car les logiciels restaient extrêmement coûteux à leurs débuts.

La raison pour laquelle il a fallu attendre l'édition de logiciels pour que la CAO se développe dans le secteur de la construction semble être sa composition. Contrairement aux secteurs de l'aéronautique et de l'automobile composés principalement de grandes entreprises capables de développer leurs propres outils, le secteur de la construction compte principalement des petites entreprises n'ayant pas cette capacité²². C'est pour cette raison également que certaines technologies utilisées dans la construction ont été initialement développées à d'autres fins.

2.1.1.2 Années 1990 : le développement de l'interopérabilité

Au cours des années 1980, l'informatique pour la construction s'est développée de manière fulgurante. Chaque secteur d'activité et chaque spécialité au sein du secteur commence à exploiter des solutions logicielles indépendantes les unes des autres. Elles ne sont alors pas développées pour communiquer entre elles et les échanges d'informations entre ces différents outils sont alors difficiles²³.

Le début des années 1990 correspond au début de la diffusion large d'internet. L'isolement des domaines et les problèmes d'interopérabilité deviennent alors centraux. Cet isolement trouve alors un nom dans la littérature scientifique : « *Islands of Automation* » (Hannus 1996). L'appellation fait référence à des îles (domaines) qui ont développé leurs standards et logiciels de manière isolée et non communicante : les « îlots d'automatisation ». C'est le début du développement et de la prise en compte large des problématiques d'interopérabilité²⁴.

À la fin des années 90, Matti Hannus (Hannus 1996) propose une représentation graphique des îlots d'automatisation (voir **Figure 9**). Il représente des moyens qui permettent métaphoriquement d'aller d'une île à l'autre. On remarque par exemple le « ferry » du format DXF qui permet d'échanger des dessins vectoriels entre la conception architecturale et l'ingénierie.

L'écoulement du temps est représenté sur son schéma par la baisse du niveau de l'eau chaque année, qui laisse apparaître : (1) des îles avec une base de plus en plus large (car les domaines s'informatisent de plus en plus), (2) des îles qui se rejoignent à leur base (car des domaines mutualisent leurs technologies), mais aussi (3) de nouvelles îles qui sont découvertes (des nouveaux domaines qui s'informatisent) et qu'il s'agira de connecter aux autres.

²² On trouve quelques exceptions comme l'entreprise Gehry Technologies (Propriété de Franck Gehry, architecte), qui a fait développer un plug-in pour l'architecture du logiciel CATIA. Notons toutefois que « Digital Project », le plug-in développé, reste basé sur CATIA, qui est initialement dédié à l'aéronautique.

²³ On peut toutefois noter que des formats d'échange ont été développés pour la transmission d'informations entre logiciels, comme le format DXF (Drawing eXchange Format), créé en 1982.

²⁴ En informatique, l'interopérabilité correspond à la capacité de matériels, de logiciels ou de protocoles différents à fonctionner ensemble et à partager des informations. Pour que deux logiciels puissent néanmoins échanger des informations, on développe généralement des formats de fichier qui sont exportables et importables par les deux logiciels qui peuvent alors communiquer.

On peut noter que sur cette représentation, l'île qui correspond à l'informatisation de la conception architecturale est moins étendue et moins haute que celle de l'ingénierie : la conception architecturale s'est informatisée plus tardivement que ces autres domaines et est, par conséquent, moins développée. On note également que Hannus envisage une interopérabilité parfaite entre ces différents domaines à l'horizon 2010 : la ligne de côte présente sur sa figure pour l'année 2010 englobe toutes les îles.

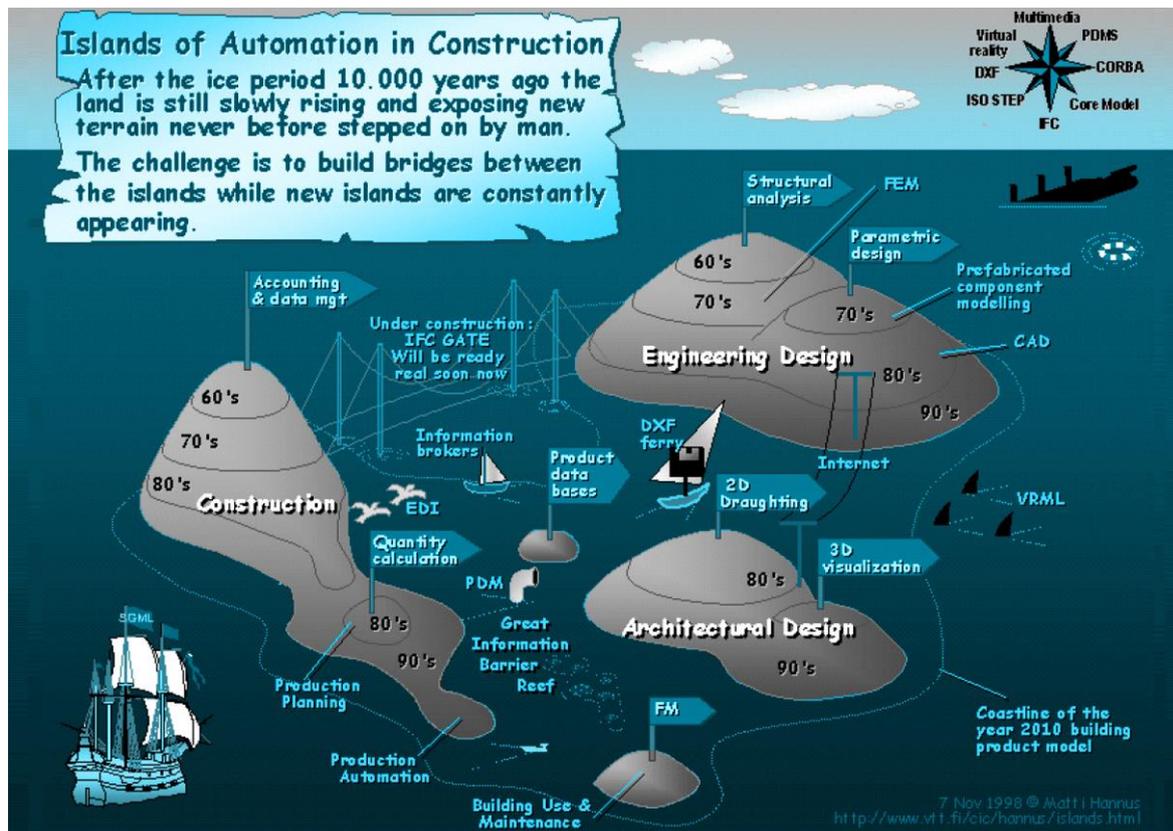


Figure 9. Îlots d'automatisation. Source : (Hannus 1996)

En 1996, Autodesk fonde l'IAI (*International Alliance for Interoperability*²⁵) avec d'autres éditeurs de logiciels. L'objectif de cette alliance est de développer des standards pour améliorer l'interopérabilité des logiciels dédiés au secteur de la construction. Un an plus tard, elle propose la première version d'un format de fichier qui a vocation à contenir les informations d'un ouvrage tout au long de son cycle de vie : l'IFC. Ce format apparaît comme un « pont en construction » sur le schéma des *Islands of Automation* de Hannus.

Lors de la création de l'IAI, Autodesk n'avait pas encore développé son logiciel de modélisation dédié à l'architecture (Revit). Ses principaux concurrents ont développé leurs solutions au début

²⁵ Alliance internationale pour l'interopérabilité. Cette organisation change de nom pour « buildingSMART » en 2008.

des années 1980 tandis que la première version de Revit est commercialisée à la fin des années 1990, lorsque les standards d'interopérabilité étaient déjà mis en place. Ce timing, qui aurait pu être une faiblesse et engendrer un retard pour l'éditeur, a été transformé par la firme en une opportunité commerciale. D'une part, elle a pu développer ses solutions en accord avec les standards existants, mais aussi insister sur le manque d'ergonomie des solutions de ses concurrents. « Avant l'ordinateur, le papier, les crayons et la créativité étaient les seuls outils dont un architecte avait besoin. Aujourd'hui, une génération entière a été forcée de travailler avec des outils complexes et contre-intuitifs. Les technologies de Conception Assistée par Ordinateur sont devenues un fléau : il est temps de libérer votre créativité » affichait la vidéo de présentation de la première version du logiciel (Revit 2000).

Le développement de l'informatique accessible (ordinateurs personnels et premières solutions de CAO) est réalisé dans un laps de temps très court et les problématiques d'interopérabilité ont été développées dans le même temps. Cependant, à la fin des années 1990, il y a encore « peu d'ordinateurs dans les agences d'architecture, et ils [sont] généralement utilisés pour faire du traitement de texte et de la comptabilité. Les tâches de conception s'[effectuent] encore à la main, des premiers croquis au rendu final » (Picon 2010b). Il y a donc un écart d'une vingtaine d'années entre la première commercialisation des technologies et leur adoption et diffusion dans les agences.

2.1.1.1 La révolution de la centralisation des données : l'industrie 4.0

La société dans son ensemble, et le secteur de la construction avec elle, traverse aujourd'hui ce que l'on appelle parfois « **la 4^e révolution industrielle** » ou « **l'industrie 4.0** » (Bourgault et al. 2021). Ce mouvement est caractérisé par le passage des **ressources d'informations statiques et fragmentées** (plans, documents papier) vers des **applications et ressources d'informations centralisées** et dynamiques (bases de données en ligne, utilisables et évolutives) (Poirier et al. 2018). Dans la continuité du développement de l'interopérabilité des années 1990, les informations deviennent aujourd'hui de plus en plus accessibles, et communiquent avec de nombreux services (Bourgault et al. 2021). L'interopérabilité, qui était dans le secteur de la construction jusque-là très portée sur des **formats** d'échanges (formats de fichier) est aujourd'hui orientée sur des **protocoles** d'échange. Les informations sont également traitées et captées de façon de plus en plus automatisée, afin d'assurer la mise à jour des bases de données exploitées.

2.1.1.2 Émergence de la notion de BIM

Au milieu des années 1990, la plupart des éléments constitutifs de la notion de « BIM » étaient présents : les logiciels de CAO orientés objet, ainsi que la volonté de centraliser et échanger les informations du bâtiment au cours du cycle de vie d'un ouvrage (le *continuum numérique*).

Dès la fin des années 80, l'idée de connecter les modèles d'ingénierie et d'architecture dans une seule « maquette numérique » (*building modeling*) qui constitue une base de données du bâtiment (et pas uniquement un modèle 3D) émergeait déjà (Aish 1986). Au cours des années 1990 on évoque également les informations du bâtiment (*building information*) ainsi que leur gestion (*information management*) (Eastman 1999) , le *Building Information Model(ing)/Management* alias « BIM » était né.

L'acronyme « BIM » devient rapidement un mot clé incontournable, et les travaux de recherche sur cette thématique se multiplient (Eastman et al. 2011). En 2007, un travail de thèse fait référence sur le BIM et pose ses bases théoriques de manière didactique et graphique, il s'agit du travail de Bilal Succar (Succar 2009). Ce dernier fonde la plateforme et encyclopédie en ligne *BIMe initiative* (Succar 2020), qui est enrichie et traduite dans de nombreux langages par une communauté active d'experts. En 2008, la première édition d'un ouvrage qui deviendra une véritable référence sur le BIM est publiée : le « *BIM Handbook* » (Eastman et al. 2008). Cet ouvrage est rapidement qualifié de « bible » du BIM. Le BIM et sa diffusion sont ainsi vus comme « la clé de voûte » permettant de déployer la Construction 4.0 (Bourgault et al. 2021).

2.1.2 BIM : définition, intérêt et utilisation

2.1.2.1 Définition du BIM

L'acronyme « *BIM* » signifie ***Building Information Model/Modeling/Management***²⁶. Il désigne une technologie innovante qui regroupe un ensemble de méthodes, procédés et outils de travail permettant d'alimenter (*Building Information Modeling*) et d'exploiter une base de données contenant des informations d'un ouvrage tout au long de son cycle de vie (Eastman et al. 2011; Kensek 2014). Cette base de données prend la forme d'une maquette numérique (*Building Information Model*), qui est une représentation numérique des caractéristiques géométriques et fonctionnelles d'un ouvrage. Elle constitue une source d'informations partagée utile pour la prise de décision au cours de toutes les phases du cycle de vie d'un ouvrage (Kensek 2014; Eynon 2016). Pour que les informations puissent être utilisées, il convient de les gérer (*Building Information Management*). La dispersion des informations du bâtiment, leur perte, ainsi que leur ressaisie à chaque passage d'un acteur (ou phase) du projet à l'autre sont à l'origine de nombreux dysfonctionnements. Cette dispersion allonge les délais, minimise la qualité, et augmente les coûts de l'ouvrage tout au long de son cycle de vie ; l'ingénierie concurrente est donc le type d'organisation qui permet de bénéficier au mieux du BIM (Eastman et al. 2011). La **technologie**

²⁶ **modèle, modélisation et gestion** des informations du bâtiment

BIM, par la centralisation et le partage d'informations, est une solution envisagée pour limiter ces problèmes, dans un esprit de **rationalisation**.

2.1.2.2 Une technologie de l'information et de la communication

Une technologie de l'information et de la communication (TIC) est « utilisée pour fournir des données, des informations et des connaissances » (Turk 2000). Le BIM est donc bien une **technologie de l'information** dédiée au secteur de l'architecture, de l'ingénierie, de la construction et de l'exploitation²⁷ (AICE). La notion de technologie est ici entendue comme un ensemble d'outils, de techniques et de méthodes relatives à un domaine, dont les dimensions humaine et organisationnelle font pleinement partie. Certains auteurs ont par ailleurs exploité la littérature sur la mise en œuvre et l'implémentation des TIC et l'intégration des systèmes d'information pour appréhender la question de l'adoption du BIM (Lindblad, Vass 2015; Vass, Gustavsson 2017).

La technologie BIM fait intervenir trois domaines d'activité qui interagissent les uns avec les autres (Succar 2009) : (1) le **secteur de l'AICE** avec ses acteurs et ses méthodes de travail, (2) **l'industrie informatique** avec les fabricants de solutions matérielles et les éditeurs de logiciels, ainsi que la **sphère politique**²⁸, **règlementaire** et universitaire, qui élaborent le cadre de l'utilisation de cette technologie (associations professionnelles, organismes de régulation, de recherche et de formation).

2.1.2.3 Les usages BIM

On distingue plusieurs manières d'exploiter la maquette numérique et les informations de l'ouvrage au cours du cycle de vie avec le **BIM de conception**, **BIM de construction**, **BIM de gestion exploitation maintenance**, et le **BIM de déconstruction** (voir *Figure 10*). On investit également depuis récemment le BIM pour la programmation (Siala Chakroun 2019).

²⁷ Dans la littérature scientifique, le terme « secteur de la construction » est généralement noté en anglais « *AEC sector* » (Architectural, Engineering and Construction sector). Depuis la large diffusion du BIM, AEC est de plus en plus souvent remplacé par le terme « AECO » (O pour Operation), intégrant ainsi la phase de Gestion Exploitation et Maintenance de l'ouvrage (Kensek 2014). Ce glissement sémantique marque la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie de l'ouvrage dans cette technologie de l'information. Mais en français, on parle généralement simplement de « secteur de la construction ».

²⁸ La terminologie « politique » est ici à prendre dans son sens premier, c'est-à-dire « qui a rapport à la société organisée », à la décision qui impacte la vie en société.

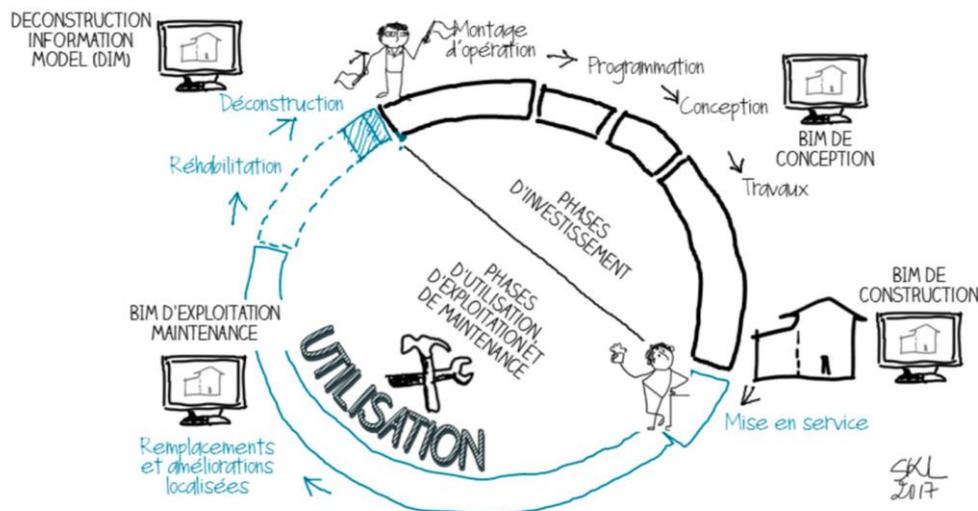


Figure 10. Cycle de vie du bâtiment avec les différentes utilisations du BIM. Source : (Levan 2017)

En **BIM de conception**, l'utilisation d'une maquette numérique permet de bénéficier de la cohérence entre les vues du projet : chaque document du projet (plans, coupes, métrés) est issu d'une vue du modèle 3D dont la mise à jour impacte directement et automatiquement tous les documents du projet. Les objets BIM sont par ailleurs paramétriques, pour faciliter leur édition (Eastman et al. 2011). La rapidité d'édition et de récupération des informations de la maquette numérique (pour des métrés par exemple) est le principal bénéfice direct du BIM pour les agences d'architecture et peut constituer un gain de temps considérable.

La maquette numérique, généralement produite initialement par l'agence d'architecture, peut également être échangée avec les bureaux d'études techniques pour diverses simulations sur le projet (thermiques, acoustiques, etc.). Cet aller-retour et ces simulations dès les premières phases de conception sont censés permettre une meilleure prise en compte des contraintes techniques tôt dans le projet, pour améliorer la conception du bâtiment (Eastman et al. 2008).

Le **BIM de construction** est censé faciliter l'organisation et la planification de chantier, notamment en affectant aux éléments architecturaux un lot et une phase de projet pour simuler la construction du bâtiment. Cet usage BIM est parfois appelé « simulation 4D », car la dimension temporelle est ajoutée aux dimensions spatiales (Eynon 2016; Boton 2013).

Le **BIM-GEM** (gestion exploitation et maintenance de l'ouvrage) consiste à gérer de manière globale une installation, en exploitant et alimentant les informations de la maquette numérique. La phase d'exploitation, peu connue des architectes, consiste à assurer la fonctionnalité, le confort, la sécurité et l'efficacité de l'environnement construit, en intégrant les personnes, les espaces, les processus et les technologies de l'installation et de l'ouvrage (Parsanezhad 2015; Dao, Forgues 2013). Parent pauvre du secteur de la construction, cette phase du cycle de vie exploite aujourd'hui très peu les informations de la maquette numérique (Atkin, Brooks 2015; Eastman et

al. 2011). Le **BIM pour la déconstruction** est aujourd'hui très peu développé et il est souvent considéré comme appartenant à la phase de GEM.

Les diverses utilisations de la maquette numérique sont appelées « usages BIM »²⁹ classés dans des « dimensions BIM ». Les dimensions commencent en 2D jusqu'à « nD ». À titre d'exemple, la 4D correspond à l'intégration du temps dans le modèle 3D, la 5D à l'intégration des coûts, etc. (Kensek 2014). On retrouve de nombreuses classifications d'usages dans la littérature³⁰.

- ➔ Le BIM est donc une **technologie** qui exploite les **informations** associées à un **ouvrage** pour permettre une conception plus poussée avec une meilleure prise en compte des contraintes, une économie en temps et en argent (Bresson 2014). Cette technologie est censée **bénéficier à l'ensemble des acteurs du projet** et **améliorer les performances de l'ouvrage**.
- ➔ Si l'on parle **d'ingénierie concourante** depuis de nombreuses années dans le secteur de la construction, le BIM incarne parfaitement ce concept qui consiste à engager les acteurs du projet simultanément, en organisant leur interfaçage (Celnik 2014a).
- ➔ Tous les secteurs sont concernés et impactés par « **la 4^e révolution industrielle** ». Celle-ci est liée à la manière dont sont produites, traitées et exploitées les **données et informations**. De plus en plus **centralisées**, ces opérations sont également de plus en plus **automatisées**. Le BIM apparaît comme la clé de voûte de cette transformation pour le secteur de la construction.

²⁹ Dans la littérature scientifique rédigée en anglais, ces usages sont appelés « BIM uses » ou « model uses ».

³⁰ On peut citer par exemple le guide d'Harvard (https://home.planningoffice.harvard.edu/files/hppm/files/harvardbep_bim_uses.pdf), ou encore le cadre de référence BIM4value (<https://www.smartbuildingsalliance.org/project/cadre-de-reference-b4v>)

2.2 Le BIM : une technologie de rupture ?

Si le BIM est la continuité naturelle des évolutions des technologies informatiques et de la société (de l'information) en général, il n'en reste pas moins très en décalage avec les méthodes de travail actuellement pratiquées dans le secteur de l'AICE. Un nouveau cadre de travail a dû être défini pour le mettre en œuvre, mais de nombreuses problématiques restent irrésolues.

2.2.1 Un nouveau cadre pour le travail en BIM pour la conception

Si la quantité d'informations disponibles sur un bâtiment est abyssale, celles qui sont nécessaires et intégrables dans une maquette numérique restent limitées. Il a donc été nécessaire de définir un cadre pour (1) exprimer les besoins en information dans une MN (Maquette Numérique), (2) qualifier la capacité des acteurs et (3) des systèmes informatiques pour gérer ces informations (voir **Figure 11**).

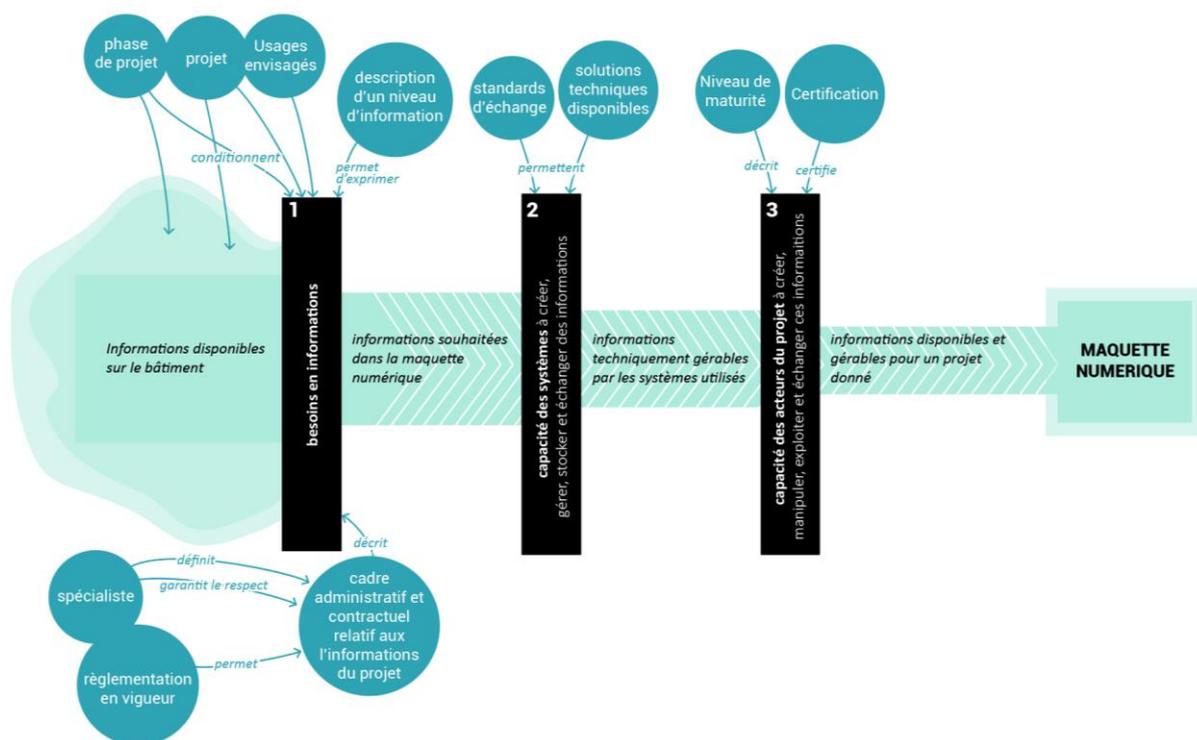


Figure 11. Positionnement des concepts évoqués dans cette partie : cadre des informations intégrables à la MN pour un projet et à un moment donné.

Note de lecture : les rectangles noirs correspondent aux concepts évoqués dans les trois sous-parties à venir.

2.2.1.1 Exprimer les besoins en information dans la MN

Les informations liées au projet sont très nombreuses, mais toutes ne sont pas utiles dans la MN. Cela dépend notamment du type de bâtiment concerné, des usages BIM que l'on souhaite mettre en œuvre, ainsi que de la phase du projet concernée. Il a été nécessaire (1) de développer une

manière de décrire l'exigence du niveau d'information et de géométrie de la MN, (2) de **construire le cadre administratif du projet** dans lequel cette exigence pouvait être intégrée, et (3) **d'identifier rôle ou métier qui serait garant de l'intégrité de ces informations**.

Les exigences du niveau d'information et de géométrie de la MN

Les représentations graphiques bidimensionnelles du projet évoluent et se détaillent au fur et à mesure de l'avancement du projet : on utilise des échelles graphiques de plus en plus grandes afin d'avoir un niveau de détail de plus en plus élevé. Un concept équivalent a dû être développé pour les détails compris dans la maquette numérique.

L'industrie utilise depuis longtemps les *LOD* pour *Level of Detail* (qui ont aujourd'hui une connotation plutôt géométrique), *Level of Development* ou même *LOI* pour *Level of Information*. Si les niveaux de détail concernent plutôt le détail géométrique, les niveaux de développement, eux, concernent également le niveau d'informations intégrées dans la maquette numérique (Hoyet, Duchene, Fouquet 2016).

Les LOD sont compris entre 100 et 500 et décrivent le niveau d'information à inclure dans la maquette numérique pour différents niveaux d'avancement (Bedrick 2008; Celnik 2014a). L'ordre des architectes américain a adopté ce standard depuis 2008 pour les projets architecturaux (Kensek 2014). En France, on parle de « Niveaux de Développement » (ND), qui représentent le « niveau de renseignement attendu » dans la maquette numérique pour chaque phase de projet de la loi MOP (Syntec Ingenierie 2014). Ce standard n'est à ce jour intégré à aucune réglementation.

Le cadre administratif et réglementaire du projet BIM

Les maîtres d'ouvrage qui souhaitent voir les équipes de maîtrise d'œuvre travailler en BIM, et éventuellement récupérer une maquette numérique pour la GEM de leur patrimoine, doivent anticiper le cadre et les exigences de projet en BIM. Plusieurs outils sont aujourd'hui à leur disposition pour cela (voir **Figure 12**).

On retrouve en premier lieu la **charte (BIM) du maître d'ouvrage**. Il s'agit d'un document générique (non lié à un projet en particulier) qui traduit sa politique en objectifs, notamment sur le volet BIM (PTNB 2016). Ce document n'est pas contractuel.

Chaque projet fait l'objet de l'élaboration d'un **cahier des charges**. Ce document précise les « exigences et objectifs des intervenants successifs du projet », y compris les objectifs BIM. Il s'agit d'un élément du programme, au même titre que la description des espaces et caractéristiques attendues du bâtiment (PTNB 2016).

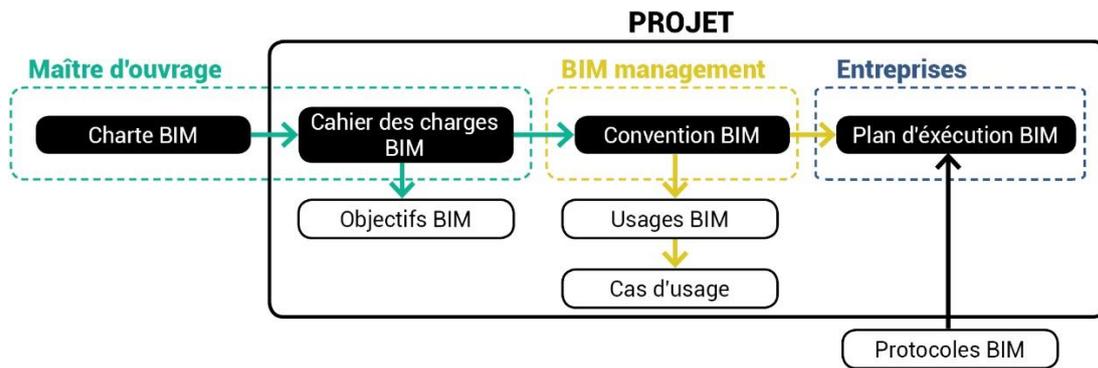


Figure 12. Différents documents qui encadrent le travail et les pratiques dans les projets BIM.
Figure réalisée à partir de (OpenClassrooms 2021).

Note de lecture : les flèches indiquent les implications de documents (la convention BIM découle du cahier des charges), les couleurs des flèches indiquent l'acteur qui les rédige.

La **convention BIM** est un document contractuel qui engage les partenaires du projet. Elle décrit « les méthodes organisationnelles de représentation graphique, la gestion et le transfert des données du projet, ainsi que les processus, les modèles, les utilisations, le rôle de chaque intervenant et l'environnement collaboratif du BIM » (PTNB 2016). Elle est rédigée par l'organisation qui est chargée de l'organisation BIM du projet, c'est-à-dire celle qui a la mission de « BIM management ». Le CNOA propose sur son site une trame de Convention BIM (CNOA 2018b). Enfin, sur le volet plus opérationnel, le **plan d'exécution BIM** (ou *BIM execution plan*) décrit en détail les usages, l'organisation interne et les exigences internes (Kensek 2014). Dès l'année 2010, l'université de Pennsylvanie proposait un guide pour réaliser un plan d'exécution BIM : le *BIM project execution planning guide* (CIC 2010).

Les nouveaux métiers du BIM

Il est nécessaire de désigner un responsable pour ces nouvelles tâches de gestion des informations et pour la vérification de l'intégrité de la MN. Les spécialistes et spécialisations qui ont émergé suite à la diffusion du BIM sont légion (BIM manager, BIM modelleur, etc.) (Barison, Santos 2011). Ces derniers répondent à deux aspects principaux de la mise en œuvre de pratiques BIM : la **gestion de projet BIM** et **l'accompagnement à la transition**.

On fait généralement la distinction entre métier et rôle (De Boissieu 2020). Un métier correspond à l'exercice d'une activité de façon permanente qui requiert un certain nombre de compétences; il est reconnu dans la société et fait l'objet d'un titre professionnel³¹. Un rôle correspond à une fonction remplie par une ou plusieurs personnes, souvent de façon non permanente.

³¹ Un titre professionnel atteste de la maîtrise d'un certain nombre de compétences acquises par son détenteur. Le titre professionnel de coordinateur BIM existe par ailleurs depuis 2019 (JORF 2019)

Le développement de pratiques BIM a fait émerger de nombreux débats portant sur la nature des spécialisations BIM : s'agit-il de rôles ou de métiers ? (Celnik 2014b; Bertrand 2014; Barison, Santos 2011). Sur cette question, les points de vue des experts divergent aujourd'hui encore. La multiplication des projets BIM a multiplié le temps de travail dédié aux missions et rôles BIM. Certains experts aux compétences spécifiques ont commencé à exercer ces activités de gestion de projet BIM à temps plein et comme métier.

2.2.1.2 Qualifier et certifier les compétences des acteurs

Niveau de maturité

Élaborer une stratégie de travail en BIM nécessite de pouvoir apprécier et **qualifier la maturité d'une organisation dans sa pratique CAO**. Il existe à ce jour plusieurs référentiels de maturité des pratiques CAO, plus ou moins fins, permettant de qualifier la maturité d'un secteur, d'une organisation ou d'une personne.

Le modèle le plus simple et le plus courant qualifie le niveau de capacité des acteurs de 0 à 3. Il est présenté ci-dessous (**Figure 12**) (Succar 2010). Chaque niveau de capacité est par ailleurs détaillé en différents niveaux de maturité. Une version en français plus détaillée et actualisée existe également (Boton, Kubicki 2014) : c'est la version sur laquelle nous nous appuyerons dans le reste de notre travail³². Dans cette traduction française de ce modèle, la notion de « niveaux de maturité » a été utilisée en lieu et place de « niveaux de capacité ».

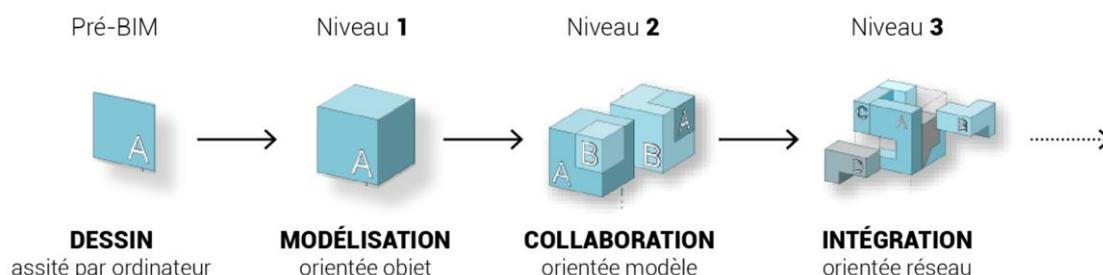


Figure 13. Niveaux de maturité des pratiques CAO. D'après (Succar 2010), (Boton, Kubicki 2014).

Le **niveau de maturité 0** est parfois appelé « Pré-BIM ». Il correspond au développement séparé des différents documents du projet (plans, coupes, métrés, etc.), avec des échanges de fichiers 2D entre partenaires. Le **niveau de maturité 1** correspond à la « modélisation orientée objet ». Ce niveau caractérise les structures qui travaillent avec un outil de modélisation 3D objet qui automatisent la génération de la documentation du projet à partir de la maquette numérique. Les

³² Il existe en réalité dans le travail de Succar (2009) trois niveaux de capacité, détaillés en cinq niveaux de maturité. Le langage courant BIM évoque trois principaux « niveaux de maturité » comme présenté par (Boton, Kubicki 2014). Ce concept en trois paliers est suffisant pour la suite de notre étude, notamment notre enquête par questionnaire.

échanges dans ce type de cas sont généralement unidirectionnels (pas d'aller-retour entre les acteurs du projet). Le **niveau de maturité 2** est qualifié de « collaboration orientée modèle ». Il caractérise les structures qui réalisent une maquette numérique avancée du projet, et en exploitent les informations. Le niveau 2 implique des échanges de maquette numérique entre les acteurs du projet. Le **niveau de maturité 3** correspond à une « intégration orientée réseau ». C'est un niveau qui implique le stockage en ligne de la maquette numérique, à laquelle les acteurs du projet (voire des systèmes) peuvent accéder pour l'éditer de manière synchrone. Ce dernier niveau est aujourd'hui relativement théorique, car il pose de nombreux problèmes techniques et réglementaires. On note cependant qu'il s'inscrit pleinement dans le concept d'industrie 4.0 et la gestion de l'information centralisée.

Certifications

Il est rassurant pour les maîtres d'ouvrage de pouvoir vérifier le niveau des compétences BIM des acteurs avec qui ils vont s'engager (Kensek 2014). La compétence BIM devient en effet un critère de sélection des partenaires de la maîtrise d'œuvre.

On distingue deux types d'outils d'évaluation : ceux qui permettent l'évaluation d'une organisation ou entreprise, et ceux qui évaluent les compétences individuelles des acteurs. Ces outils de mesure permettent d'évaluer les processus, technologies, standards, le niveau organisationnel et les compétences individuelles des acteurs (Wu et al. 2017). De nombreux outils de mesure et de certification des compétences des acteurs ont été développés et aucun d'entre eux n'est obligatoire ou généralisé au niveau de la France. Les professionnels du secteur français sont par ailleurs méfiants vis-à-vis de ces certifications, car ils craignent que leur obtention ne conditionne (et donc bloque) l'accès aux marchés, en particulier pour les TPE-PME (Tarek 2019).

2.2.1.3 Développer la capacité des systèmes à créer, gérer et échanger des informations

Le développement logiciel d'un nouveau cadre de travail (notamment collaboratif) est passé par le développement des outils de modélisation et de conception, des outils de collaboration et d'organisation du travail, ainsi que le développement des standards d'échange.

Les outils de CAO

Le Conseil National de l'Ordre des Architectes précise que les quatre principaux logiciels BIM pour la modélisation BIM destinés aux architectes sont : Allplan, ArchiCAD, Revit et Vectorworks (CNOA 2018c). La plupart d'entre eux sont apparus dans les années 80³³. Si leur fonctionnement reste depuis le même, leurs fonctionnalités se sont étendues. Leurs interfaces deviennent de plus

³³ L'appellation « logiciel BIM de conception » reste toutefois anachronique dans ce cas.

en plus ergonomiques et leur interopérabilité avec d'autres systèmes devient meilleure à chaque nouvelle version.

Le **cloud computing** (Kumar, Cheng, McGibbney 2010) déplace progressivement les logiciels et la puissance de calcul hors des locaux des entreprises. Alors que les logiciels étaient auparavant achetés avec des licences permanentes et installées sur les ordinateurs des entreprises, ils sont aujourd'hui disponibles en licence par abonnement et se transforment progressivement en applications web³⁴. Les licences par abonnement pour les logiciels incluent également maintenant des services (stockage, ferme de calcul), avec les avantages et bien sûr les inconvénients que cela implique.

Garantir les échanges de maquette numérique

Lorsque les acteurs du projet s'échangent une maquette numérique (BIM niveau 2), on distingue deux types d'échanges : le *closed BIM* et l'*open BIM* (Lebègue, Vervandier 2014).

Le **closed BIM** désigne des échanges de maquette numérique réalisés avec des **formats de fichier propriétaires**³⁵. L'échange a alors lieu entre des logiciels issus du même écosystème qui ont été développés pour lire les formats natifs des uns des autres : on parle alors également d'**intraopérabilité** (Kensek 2014). L'intraopérabilité exclut les acteurs du projet qui utilisent des logiciels développés en dehors de l'écosystème. De plus, à chaque nouvelle mise à jour ou version d'un logiciel, l'éditeur peut choisir d'arrêter de supporter la lecture-écriture des fichiers dans des formats précédents. Cela pose un problème de pérennité de l'accès aux informations de l'ouvrage dans le temps. Le *closed BIM* est en revanche robuste, car l'éditeur a pu lui-même maîtriser toute la chaîne d'échanges qui est alors très fiable. C'est le cas en particulier d'Autodesk qui développe de nombreux logiciels, qui intègrent généralement des passerelles en format natif d'un logiciel à l'autre.

L'**open BIM** désigne des échanges de maquette numérique réalisés avec un **standard ouvert**³⁶. Le standard ouvert est indépendant de tout éditeur et de tout logiciel, on parle dès lors d'**interopérabilité** (Kensek 2014). L'*open BIM* favorise la diversité de logiciels au sein de l'équipe

³⁴ À l'instar du logiciel phare de la modélisation 3D rapidement : SketchUp, qui est maintenant proposé également en format application web ; ou encore de différents services web qui proposent de traiter nos fichiers pour les compresser, les analyser, etc.

³⁵ Un format propriétaire (ou « fermé ») est un format dont l'accès ou l'utilisation des spécifications (indications qui décrivent le format et qui permettent le développement d'un module d'import ou d'export) est limité par l'entreprise qui a développé ce format. Les formats natifs des logiciels sont généralement des formats propriétaires : c'est le cas par exemple en BIM des formats .rvt (format natif Revit) et .pln (format natif ArchiCAD) (Ferriès 2014).

³⁶ Un standard ouvert est un format de données dont « les spécifications techniques sont publiques et sans restriction d'accès ni de mise en œuvre » (Legifrance 2004).

de projet et garantit la pérennité de l'accès aux données dans le temps. Le format de fichier par excellence de l'open BIM est l'IFC, développé par buildingSMART. Il a quelques variantes, comme le format BCF qui ajoute une couche collaborative à la maquette numérique en associant des commentaires à des objets IFC (Ferriès 2014). Notons également que building Smart a mis en place un système de certification import-export IFC des logiciels.

Les outils support de collaboration

Des outils de « travail collaboratif assisté par ordinateur » (ou « collecticiels ») ont commencé à se développer dans les années 2000, en parallèle du développement des standards d'échange pour le BIM.

Une **situation collaborative**³⁷ regroupe trois fonctions principales : (1) la **communication** entre acteurs, (2) la **production** et le partage d'artefacts, ainsi que (3) la **coordination** et l'organisation des acteurs (Salber et al. 1995; Ellis, Wainer 1994)(Ellis, Wainer 1994)(Ellis, Wainer 1994). Ces trois fonctions sont aujourd'hui encore la plupart du temps supportées par des outils différents (exemple : outil de visioconférence pour la communication, plateforme de stockage en ligne pour l'échange, calendrier en ligne pour la coordination). Mais ces outils diversifient généralement leurs fonctionnalités et les plateformes de stockage offrent maintenant souvent des outils de communication qui permettent de commenter les documents, voire de dialoguer en direct, etc ³⁸. Depuis les années 2000, de nombreux « collecticiels » (logiciels qui ont vocation à réunir plusieurs fonctions retrouvées dans une situation collaborative). Des collecticiels ont été développés dans le secteur de la construction (Bignon et al. 2000; Boton 2013; Malcurat 2001), il s'agit des ancêtres des « plateformes collaboratives BIM » actuelles ainsi que du niveau de maturité 3 des pratiques BIM.

De nombreuses **plateformes collaboratives** ont été développées pour supporter les activités BIM. Elles doivent permettre le travail multi-utilisateurs distants, le suivi des modifications et le stockage des maquettes figées pour chaque phase contractuelle du projet (du Merle 2014). La plus célèbre en France, Kroqi (Kroqi 2018), est développée par le gouvernement français comme un service public gratuit. Kroqi intègre la dimension de **partage des fichiers** (IFC notamment), de **communication** (avec un outil de visioconférence), et de **coordination** (avec un calendrier et un gestionnaire de tâches). Certains outils de visualisation et vérification de la maquette numérique

³⁷ Nous utilisons ici le terme « collaboratif » alors que l'auteur indique qu'il s'agit de travail coopératif. L'intensité des échanges entre les acteurs est ce qui différencie ces deux situations, et l'auteur indique lui-même que ses propos restent valables pour un travail collaboratif.

³⁸ On peut penser par exemple à la suite bureautique collaborative de Google (docs, sheets, slides, etc.) qui permet à plusieurs utilisateurs de travailler sur le même document de manière synchrone, et d'échanger autour de celui-ci via un chat et un système de commentaires intégrés. Elle réunit au moins les deux fonctions de communication et de partage/production d'artefacts.

sont par ailleurs disponibles directement sur Kroqi : on retrouve ici la dématérialisation des services.

Cependant, ces plateformes ne sont pas encore totalement opérationnelles au sens du BIM niveau 3. En effet, celui-ci impliquerait que la plateforme intègre l'outil de production, ou soit liée directement avec les outils de production des différents acteurs, par protocoles d'échanges (et non plus par dépôt de fichiers).

2.2.2 De nombreux problèmes restent non résolus

La mise en place du BIM nécessite une « mise à plat des pratiques » pour en organiser efficacement la gestion (Hoyet, Duchene, Fouquet 2016). Il y a d'une part les problèmes liés à l'utilisation du BIM et d'autre part à la difficulté au moment de sa mise en place. Nous dressons un panorama de ces problématiques sur le plan technique et logiciel, sur le plan organisationnel et structurel, et sur le plan règlementaire.

2.2.2.1 Sur le plan technique : les problèmes d'interopérabilité

La continuité numérique entre les différentes phases du cycle de vie du bâtiment reste un véritable challenge technologique, notamment sur la définition des informations à échanger. Certaines phases, comme le chantier ou la GEM (Gestion, Exploitation, Maintenance) font intervenir informations particulièrement dispersées. L'interface entre ces phases n'est pas non plus réglée : la maquette de construction par exemple combine les informations du bâtiment tel qu'il devrait être construit tandis que la phase de GEM nécessite une maquette « *as built* » (tel que construit) (Kensek 2014). Il faut noter également que le format IFC n'est pas encore abouti, que de nombreuses informations nécessaires à la description d'un bâtiment dans ses différentes échelles ne sont pas intégrées. De plus, les problèmes de lecture-écriture (interopérabilité) de ce format restent nombreux. Même en interne d'une phase du cycle de vie du bâtiment, les problèmes d'interopérabilité sont nombreux (Gu, London 2010). En attendant, l'intraopérabilité se développe et est souvent favorisée par les maîtres d'ouvrages pour sa fiabilité : cela a pour conséquence de faire converger vers un monopôle logiciel pour la conception, porté aujourd'hui par Autodesk.

2.2.2.2 Sur le plan humain et organisationnel : les difficultés de mise en œuvre du BIM

La technologie BIM bouleverse le **déroulement du projet**. Pour bénéficier de la MN (échanges avec des partenaires, documentation du projet), il faut tout d'abord la créer et l'enrichir. Cela a pour effet de décaler l'effort important de modélisation/dessin en amont du projet. Il est ainsi possible de produire des analyses supplémentaires sur le projet très en amont, lorsque le coût des modifications est encore faible. Ce décalage est illustré par le diagramme de Mac-Leamy (MacLeamy 2010) (Figure 14).

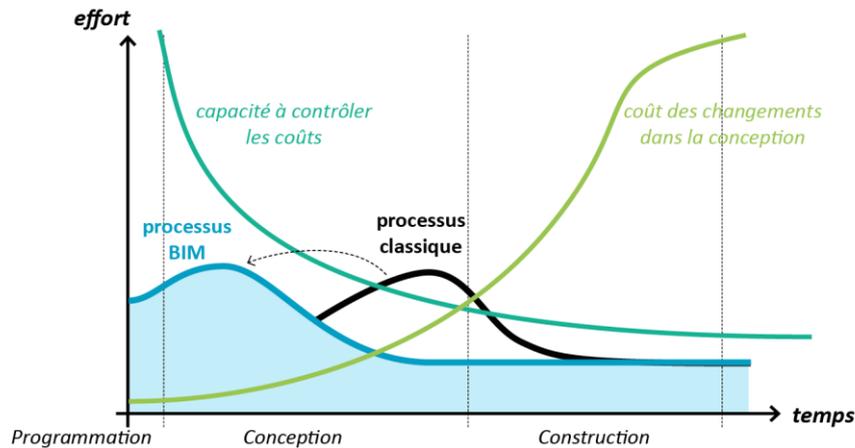


Figure 14. Diagramme de Mac-Leamy. Source : (MacLeamy 2010)

Les modifications du déroulement du projet vont de pair avec une **évolution des périodes d'implication des acteurs du projet**. La technologie BIM constitue une réponse aux limites du modèle séquentiel. En effet, le niveau 1 permet d'automatiser certaines tâches, mais fonctionne toujours en modèle séquentiel; le niveau 2 permet d'intégrer plus tôt les bureaux d'étude dans le processus de conception et de mieux anticiper et réaliser la construction; le niveau 3 permet d'intégrer les acteurs de la GEM dès les premières phases de conception de l'ouvrage et d'échanger avec eux beaucoup plus d'informations qu'auparavant (voir Figure 15).

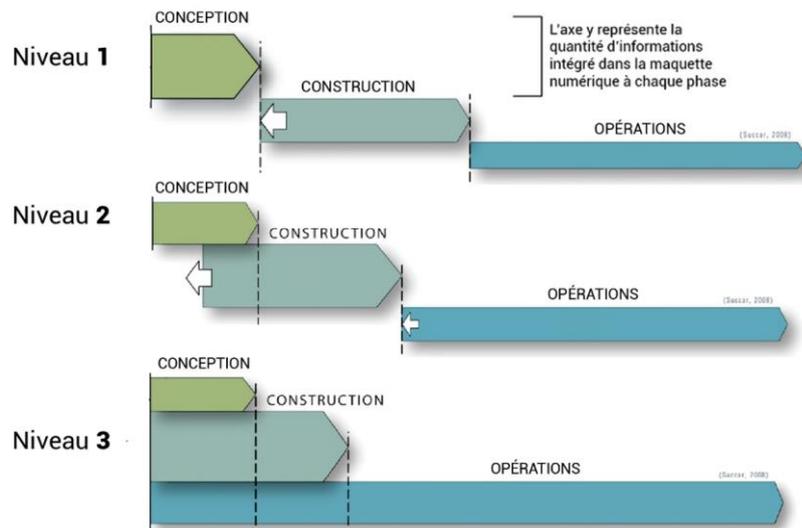


Figure 15. Phases du cycle de vie du projet (liés à la conception) pour les trois niveaux de maturité. D'après : (Succar 2009)

Le modèle concourant pose en revanche de nombreux défis, et en premier lieu celui de la transition du modèle actuel **séquentiel** vers un modèle **concourant**³⁹. La nouvelle répartition des efforts à fournir au long du projet (plus d'effort au cours des premières phases) nécessite un temps

³⁹ Voir partie 1.1.2, « Modèles de gestion de projet et structures contractuelles », p.22.

d'adaptation des professionnels dans leur organisation. Il faut revoir la répartition des rémunérations pour chaque phase, et repenser la rémunération au sein de la maîtrise d'œuvre, notamment liée à l'économie de temps pour ceux qui exploitent les données de la maquette numérique (Pélegrin 2014). L'intégration des acteurs de la construction et de la gestion vers les phases de conception va nécessairement réorganiser le secteur et modifier encore la place de l'architecte dans le projet. Le BIM bouleverse également les habitudes de travail, et demande une rigueur extrême dans la modélisation et l'intégration des informations (Dossier 2014).

Concernant la « transition numérique » à proprement parler, les professionnels insistent régulièrement sur le coût des équipements nécessaires à la mise en place de pratiques BIM (logiciels, ordinateurs performants). La manière dont ce changement est supporté et appréhendé par les entreprises qui le mettent en place reste une problématique importante (Eynon 2016; Holzer 2015). La littérature scientifique relative à la mise en place de pratiques BIM a également noté que l'implémentation du BIM est associée à un changement profond dans les organisations, qui concerne les outils, les processus et routines de travail, la collaboration, les compétences, et les pratiques de manière générale (Lindblad, Vass 2015; Poirier 2015). C'est l'ensemble du système d'information des organisations permanentes (maîtrise d'œuvre, entreprises) et temporaires (équipes de projet, etc.) qui est touché par l'implémentation d'une technologie comme le BIM (Lindblad, Vass 2015).

2.2.2.3 Sur le plan réglementaire et politique : un cadre pour l'instant inadapté

L'utilisation de la technologie BIM, qui s'inscrit dans une démarche concourante suppose une **redéfinition de la loi MOP** qui organise les missions en mode séquentiel. Plus précisément, ce sont ses décrets et arrêtés d'application qui doivent évoluer : dans la définition des livrables, la mise à jour des contenus des missions qui y sont définies, l'intégration de la phase de GEM, la définition du BIM management (Bellenger, Blandin, Celnik 2016).

Outre une évolution de la loi MOP, l'utilisation du BIM induit des modifications des modalités d'exécution des prestations et la création de fonctions complémentaires. Il est donc nécessaire d'examiner les responsabilités au vu des évolutions des missions actuelles, et des missions nouvelles (Bellenger, Blandin, Celnik 2016). Il faudra aussi définir des bonnes pratiques afin de les intégrer à l'environnement juridique et administratif des opérations (Hoyet, Duchene, Fouquet 2016). Le partage de la MN nécessite également l'élaboration d'un cadre qui fixe la propriété intellectuelle des informations qui y sont intégrées dans le cadre d'une opération menée en BIM (Bellenger, Blandin, Celnik 2016). La dématérialisation des livrables et procédures liées à l'ouvrage se développent, comme le dépôt de permis de construire (PC) ou encore le dossier des interventions ultérieures sur ouvrage (DIUO). Ce dernier cadre est cependant en marche : à partir

du 1^{er} janvier 2022, ⁴⁰ les communes françaises de plus de 3500 habitants seront obligées d'instruire par voie dématérialisée les demandes de permis de construire, et certaines demandes d'urbanisme.

→ Malgré sa **continuité naturelle** avec les précédentes grandes innovations technologiques (l'ordinateur et internet), ainsi qu'avec les innovations du secteur de la construction (DAO), le BIM nécessite la mise en place d'un cadre technique, humain et réglementaire conséquent. La mise en place de ce cadre a commencé, mais il reste encore très lacunaire.

⁴⁰ Article L. 423-3 du code de l'urbanisme, et article L. 112-8 du code des relations entre le public et l'administration

2.3 Des initiatives incitatives partout dans le monde, et un réveil tardif pour la France.

Dans cette partie, nous présentons un rapide état des lieux des initiatives et des enjeux des États à inciter leurs secteurs à adopter des pratiques BIM. Nous dressons également un panorama des réactions observées en France, notamment dans la profession d'architecte.

2.3.1 Le contexte international

2.3.1.1 Le concept de macro-adoption

La technologie BIM est une innovation collaborative, dont l'adoption peut être étudiée à différents niveaux (Poirier 2015; Succar 2010). Trois principales échelles organisationnelles sont généralement distinguées dans les travaux de recherche sur le BIM et sur son adoption (Succar, BIME initiative 2009; Poirier 2015). L'**échelle micro** se situe au niveau d'une entreprise, elle-même composée (en fonction de sa taille) de départements, d'équipes, et d'individus. L'**échelle meso** correspond aux équipes de projet et à leurs interactions dans le cadre du projet. Cette échelle, orientée sur le projet, intègre plusieurs entreprises qui composent une « organisation temporaire » qui dure le temps du projet. L'**échelle macro** comprend les marchés et industries. Le marché international est composé des marchés nationaux, composés eux-mêmes de différents secteurs, organisés en disciplines, divisées en spécialités.

2.3.1.2 La macro-adoption : un enjeu pour les États

En tant que maître d'ouvrage et gestionnaire de patrimoine, l'État peut tirer bénéfice de la technologie BIM. Partout à travers le monde, de nombreux États ont donc développé une politique incitative qui vise à généraliser l'utilisation du BIM pour les marchés publics.

Pour (Succar, Kassem 2015), la diffusion de pratiques BIM à un niveau national passe par la mise à niveau de plusieurs domaines : l'évolution des systèmes informatiques, des processus de travail, et du cadre de travail (réglementaire et institutionnel). D'après ces mêmes auteurs, la maturité BIM d'un pays peut se mesurer sur huit axes :

- **Objectifs et étapes politiques** : des objectifs politiques et des étapes sont clairement définis.
- **Démonstrateurs** : Le pays a des « BIM champions », ce sont des acteurs qui ont mis en place des pratiques BIM très tôt, qui entraînent d'autres acteurs avec eux.
- **Cadre réglementaire** : un environnement réglementaire a été mis en place pour permettre les pratiques BIM (contrats, droits d'auteur, polices d'assurance, etc.).
- **Publications notoires** : les acteurs du secteur ont accès librement et gratuitement à de la documentation qui les aide à mettre en œuvre des pratiques BIM. Cette documentation peut être réalisée par l'État ou des associations d'industriels.

- **Système éducatif** : l'enseignement (initial et continu) couvre les concepts, outils et processus de travail BIM.
- **Métriques et certifications** : des outils adaptés au contexte national permettent de mesurer les capacités BIM des individus, organisations, et équipes de projet.
- **Standards et livrables** : il existe des standards nationaux qui s'adaptent régulièrement au contexte international. Des livrables BIM sont définis.
- **Infrastructure technologique** : les technologies BIM performantes sont disponibles pour les acteurs du secteur.

Les études comparatives de la maturité BIM de différents pays se sont multipliées ces dernières années. Cette thématique constitue un enjeu concurrentiel entre différents pays. Dès lors que quelques-uns d'entre eux ont mis en place des politiques publiques permettant de favoriser le développement du BIM, il devient nécessaire pour les autres de se mettre rapidement à jour pour ne pas être à la marge. Si quelques pays ont très rapidement mis le BIM au cœur de leur politique publique de développement de la construction, la France a quant à elle commencé à mettre en place un cadre assez tardivement.

2.3.1.1 Positionnement des États par rapport au BIM

Les politiques gouvernementales et l'évaluation de la maturité BIM de différents pays concernent l'échelle macro, mais les réglementations peuvent agir sur les échelles meso et micro pour impacter l'ensemble du marché. En 2014, le parlement européen adopte une directive qui précise que « pour les marchés publics de travaux et les concours, les États membres de l'Union [Européenne] peuvent exiger l'utilisation d'outils électroniques particuliers tels que les outils de modélisation électronique des données du bâtiment ou des outils similaires. » (Parlement Européen 2014). Certains pays membres de l'UE avaient déjà pris cette direction quelques années auparavant : dès 2011, le gouvernement du Royaume-Uni⁴¹ publie sa « stratégie pour le secteur de la construction » (UK government, Maude 2011) qui précise qu'un BIM totalement collaboratif (niveau 2) sera exigé dès 2016, ce qui a été mis en œuvre, dans un cadre limité à certains types de projets.

Dès la fin des années 2000 et au début des années 2010, les enquêtes commerciales comparatives du niveau d'adoption de plusieurs pays prospèrent. Par exemple, les enquêtes de McGraw-Hill, une entreprise spécialisée dans l'analyse financière, publie plusieurs études financées et soutenues par des industriels, associations d'industriels et ordres des architectes (McGraw Hill Construction 2014; McGraw Hill Construction et al. 2010). Ces enquêtes sont peu rigoureuses et se basent sur des panels de répondants assez faibles (Kassem, Succar 2017). Des études plus rigoureuses issues de la recherche fleurissent également, mais se concentrent généralement sur

⁴¹ La sortie du Royaume-Uni de l'Union européenne (UE) a pris effet le 1^{er} février 2020, au moment de la directive européenne, il était encore membre de l'UE.

un seul pays. En 2017, une étude comparative de plusieurs pays est réalisée sur la base des huit axes précédemment évoqués. D'après ces critères, les sept pays dans lesquels la diffusion du BIM est la plus avancée sont : les Pays-Bas, la Chine, l'Angleterre, la Finlande, la Corée du Sud, la Nouvelle-Zélande, Hong-kong et les États-Unis (Kassem, Succar 2017). Certains pays ont en effet mis en place très tôt des stratégies nationales pour encourager ou faciliter l'utilisation du BIM, à l'instar des États-Unis qui ont mis en place un programme BIM dès 2003 ou encore la Finlande qui intègre des livrables de maquette numérique depuis 2007 (Edirisinghe, London 2015). La France n'a pas pu être intégrée à leur étude comparative, faute de réponse des acteurs contactés pour diffuser l'enquête.

2.3.2 Le BIM en France : quel niveau d'avancement, quelles stratégies, quelles réactions ?

2.3.2.1 Un baromètre en France ?

Les **publications notoires** référencées pour la France sont toutes relativement récentes : les premières sont datées de 2014, contre 2005 pour les États-Unis, 2007 pour la Finlande et la Norvège, et 2009 pour l'Australie (Hochscheid, Halin 2018a). La France est d'ailleurs très peu représentée et étudiée dans les études comparatives internationales sur le BIM (à l'exception de celles qui concernent l'Europe): **elle n'est pas considérée comme un pays leader sur le BIM.**

Au niveau français, de nombreux sites internet d'information sur le bâtiment ont publié des études en ligne : elles touchent un public restreint et la méthodologie y est rarement détaillée. Il faut attendre 2016 pour voir apparaître un « baromètre du BIM » qui permet de suivre l'avancement du BIM en France. Il est depuis réalisé tous les ans, la version 2018 étant sa 3^e édition (Groupe BATACTU 2018). Ce baromètre permet de voir une progression de la diffusion du BIM : de plus en plus d'acteurs disent en avoir une connaissance suffisante (tous statuts confondus avec maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, entreprises de construction et industriels). Ils estiment majoritairement que c'est une innovation complexe, mais utile.

2.3.2.2 Le BIM en France : un réveil politique en 2014

Mediaconstruct et ADN Construction

Il existe un volet français de l'association buildingSMART : il s'agit de Mediaconstruct. L'association publie régulièrement des documents en français pour permettre aux professionnels de comprendre et utiliser la technologie BIM (Mediaconstruct 2020). Même si Mediaconstruct a rejoint buildingSMART dès sa création, la France a mis en place une stratégie BIM assez tard par rapport à d'autres pays. En 2017, d'importants organismes professionnels, dont l'union nationale des syndicats français d'architectes (UNSF), ont quitté l'association, car l'évolution de la gouvernance qu'ils ont souhaitée n'a pas eu lieu (Batiactu 2017). Quelques mois plus tard, ils

participent à la création d'ADN construction (l'association pour le développement du numérique dans la construction) (ADNc 2017), dont les missions sont similaires à Mediaconstruct.

Le Plan de Transition Numérique du Bâtiment

En mars 2014 (un mois après l'adoption de la directive européenne incitative sur le BIM), Cécile Duflot alors ministre du Logement et de l'égalité des territoires, indique dans une interview pour le journal Le Moniteur « nous allons progressivement rendre obligatoire la maquette numérique dans les marchés publics d'État en 2017 » (Beideler, Francqueville 2014). Cette affirmation provoque un tsunami dans le milieu de l'architecture et suscite l'inquiétude des professionnels.

En juin 2014, Sylvia Pinel, successeurice de Mme Duflot, demande à Bertrand Delcambre, directeur du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), un rapport sur l'état du numérique dans le secteur de la construction. Cette initiative est réalisée dans le cadre d'un plan de relance destiné à accélérer le rythme des constructions et des rénovations, en améliorer la qualité, et en réduire le coût. Ce **rapport intitulé « Mission Numérique Bâtiment »** ou plus communément « rapport Delcambre » est rendu à Mme la ministre en décembre 2014 (Delcambre 2014).

Le « rapport Delcambre » conclut sur un plan d'action qui s'inscrit dans quatre axes : (1) motiver l'ensemble des acteurs du secteur, (2) répondre aux besoins d'équipements et de montée en compétences des TPE/PME, (3) développer des outils adaptés à tous les projets, et (4) installer une confiance dans l'écosystème numérique. Des actions et objectifs à court terme pour l'année 2015 y sont annoncés : c'est la naissance du **Plan de Transition Numérique du Bâtiment** (PTNB), et de la plateforme batiment-numerique.fr. C'est dans le cadre du PTNB qu'est développée la plateforme Kroqi.

La transposition de la directive européenne dans la Loi française

La directive européenne qui fait entrer le BIM dans le cadre juridique européen (Parlement Européen 2014) trouve une transposition dans la loi française dans un décret en 2016 (Ministère de l'économie et des finances 2016) relatif aux marchés publics, dont une section concerne la dématérialisation des procédures : « L'acheteur peut, si nécessaire, exiger l'utilisation d'outils et de dispositifs qui ne sont pas communément disponibles, tels que les **outils de modélisation électronique des données du bâtiment** ou des outils similaires. Dans ce cas, l'acheteur offre d'autres moyens d'accès (...), jusqu'à ce que ces outils et dispositifs soient devenus communément disponibles aux opérateurs économiques » (Ministère de l'économie et des finances 2016). Le décret correspond presque mot pour mot à la directive, et laisse la porte ouverte à d'autres options. Le BIM n'est donc pas rendu obligatoire, mais son utilisation est encadrée par un décret.

Le plan BIM 2022

Lors des assises du Logement de 2018, il est annoncé par le ministère du Logement que le PTNB devient le **Plan BIM 2022** dont l'objectif est de « généraliser l'utilisation du numérique dans le bâtiment d'ici 2022 » (Plan BIM 2022 2020). Il correspond à l'évolution du PTNB et reprend les différents objectifs du rapport Delcambre, regroupés sous deux principaux axes : (1) **généraliser la commande BIM**, notamment en sécurisant les contrats BIM, ou encore en créant un observatoire du BIM dans le bâtiment, et (2) **déployer le BIM dans tous les territoires** grâce aux outils adaptés, en développant de outils de montée en compétence ou en évaluant sa maturité BIM (certification). C'est ADN construction qui est porteuse des actions du plan BIM 2022.

2.3.2.3 Le BIM : formations et écoles d'architecture

Plusieurs formations spécialisées sur le BIM ont vu le jour notamment dans des écoles d'ingénieur, à l'instar du mastère⁴² spécialisé BIM à l'école des Ponts et Chaussées Paris Tech. Ces formations sont destinées à des professionnels ou de jeunes diplômés qui souhaitent se spécialiser en BIM, mais elles sont généralement assez coûteuses.

La technologie BIM est également progressivement intégrée dans des formations initiales. En 2014 se tient la première édition des Journées de l'enseignement et de la recherche sur la maquette numérique et le BIM en France (EDUBIM) qui regroupe divers établissements d'enseignement supérieur notamment en ingénierie et architecture (EDUBIM 2020).

En 2017, un cours en ligne gratuit (MOOC) dédié au BIM a été mis en place sur la plateforme <https://mooc-batiment-durable.fr/> par l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) dans le cadre du Plan Bâtiment Durable.

Les écoles d'architecture ont intégré des enseignements en informatique à leur programme tardivement (Celnik 2014c). Celles **qui proposent un enseignement spécifique en BIM aujourd'hui sont encore rares**, et ces enseignements se limitent souvent à l'enseignement d'un outil en intégrant très peu la dimension collaborative de la technologie (Gless 2019).

L'actualisation du contenu pédagogique et son adéquation avec les évolutions de la société sont un pendant de la recherche universitaire (Boton, Forgues, Halin 2017). Mais les chercheurs sont rares dans les ENSA ; l'enseignement de la CAO (généralement réalisé par des enseignants issus du champ STA⁴³) est rarement mis en relation avec l'enseignement central de projet (FERRIES 2019). L'enseignement de projet ne permet donc généralement pas d'aborder les questions de

⁴² La dénomination de mastère est à ne pas confondre avec « master ». Le master, un grade universitaire est un diplôme et il est validé par l'État. Le mastère n'est pas un diplôme, il s'agit d'un label délivré par les écoles.

⁴³ Sciences et Techniques pour l'Architecture

collaboration orientée modèle avec une équipe de maîtrise d'œuvre, tandis que les cours de CAO se cantonnent à l'enseignement des outils et ne permettent pas d'aborder les questions collaboratives (Gless 2019).

Les constats concernant l'enseignement du BIM dans les ENSA sont régulièrement partagés : **un lien avec le projet est nécessaire, mais particulièrement difficile**. En 2017, un référentiel a été établi pour l'enseignement du numérique dans les ENSA. Mais celles-ci sont autonomes pour établir leur programme et très peu d'entre elles ont exploité ce référentiel pour établir le leur (FERRIES 2019). La mise en place de cours spécialisés sur le BIM est donc relativement rare et repose généralement sur des initiatives individuelles des enseignants (FERRIES 2019).

2.3.2.4 *La réception du BIM par les architectes*

En 2015, la revue AMC lance un appel à contributions des architectes sur la thématique « Le BIM est-il l'avenir de l'architecture ? »⁴⁴. Les réponses apportées permettent de percevoir la réception du BIM chez les architectes un an après son intégration dans les stratégies de l'État pour le développement du secteur de la construction.

Pour certains, le BIM est « l'occasion de reprendre la maîtrise du projet » (Levy-Bencheton 2015), « la dernière chance des architectes de re-devenir les maîtres d'œuvre qu'ils ont cessé d'être » (Arene 2015), une occasion de reprendre en main le chantier que beaucoup d'architectes ont délaissé (Arene 2015) ou au contraire « [le] coup fatal que les architectes vont prendre derrière la tête s'ils ne résistent pas ensemble à ce nouveau diktat ! » (Sterlin 2015). Le BIM a été qualifié d'effet de mode passager, de « crise », « rupture » ou « mutation » qui va radicalement impacter l'acte de construire⁴⁵. Certains comparent d'ailleurs l'arrivée du BIM à la première informatisation des agences au cours des années 90 (Liste Architectes en mouvement 2014). Le BIM est rapidement identifié comme un enjeu, un train qu'il conviendrait de ne pas rater⁴⁶ (Liste Architectes en mouvement 2014). Nombreux sont ceux également qui ont tenté de mettre en garde les architectes : « l'attentisme de rigueur aujourd'hui ne doit pas faire oublier que d'autres acteurs s'emparent de ce processus » (Castel 2015).

De nombreux architectes craignent que le processus de création soit détérioré. Alors que certains sont enthousiastes à l'idée de pouvoir rapprocher les méthodes de travail des architectes et des ingénieurs (Arene 2015), d'autres souhaitent au contraire que l'architecte puisse décider seul de

⁴⁴ <https://www.amc-archi.com/article/le-bim-est-il-l-avenir-de-l-architecture,1534>

⁴⁵ « la crise que nous traversons n'est pas une crise, mais une nécessaire mutation (...) il faut oser de vraies ruptures, notamment comportementales » (Pélegrin 2014)

⁴⁶ « Effectué à temps, avec anticipation et volonté, cela donne un avantage concurrentiel. Effectué trop tard, sous la pression, cela devient coûteux et inefficace. » (Liste Architectes en mouvement 2014)

ses méthodes de travail pour en garder la maîtrise : « une petite caste d'idéalistes de la technique universelle, apôtres de la pensée conceptuelle unique, et assez peu conscients qu'un architecte conçoit mieux quand il a l'esprit libre, a décidé unilatéralement de révolutionner radicalement la manière de travailler dans des agences dont ils ne font pas partie et dont ils ignorent copieusement le quotidien. » (Sterlin 2015). La dimension rationnelle du BIM inquiète également et est loin de faire l'unanimité : certains condamnent « l'industrielle optimisation » du BIM qui fait « l'omission de la raison du projet » (Liste printemps des architectes 2014).

Le développement du BIM a également rapidement fait naître la crainte de l'extinction des petites agences, puisqu'il est souvent rappelé que « seules les grosses structures [peuvent] adopter la nouvelle technologie tellement son coût serait important » (Tripiet 2018). Le coût de l'équipement et de la mise en route du BIM inquiète, tout comme l'évolution des honoraires : l'architecte va-t-il y perdre ou y gagner ?

D'ailleurs, la question « à qui profite le BIM ? » est régulièrement posée. Si certains y voient un possible partage des bénéfices par tous les acteurs de la vie d'un ouvrage (Pélegrin 2014) et une opportunité de revaloriser les missions et honoraires des architectes, d'autres y voient une prise en otage par des éditeurs de logiciels : « [ils] poussent les agences dans leurs derniers retranchements pour les forcer à adopter leur nouveau standard ». Les architectes évoquent également la possibilité d'être surchargé de travail au profit d'autres acteurs : « les majors de la construction et de l'ingénierie, entrevoient la possibilité de se délester d'une grosse partie de leur travail de saisie et de modélisation sur le dos des architectes » (Sterlin 2015). Certains étendent la liste des « acteurs intéressés » aux consultants informatiques, ainsi qu'aux architectes et ingénieurs « ayant déjà acquis la compétence » et souhaitant prendre le dessus sur les architectes (Didelon, 2014). Ces réactions s'expliquent assez bien par l'histoire de la profession, issue de l'effritement des missions de la maîtrise d'œuvre. Depuis la création de l'ordre des architectes, la profession a été dans une posture de défense (du titre notamment) qui n'a peut-être fait que de les isoler des autres acteurs du secteur qui s'apprêtent à collaborer.

Pour les architectes, la collaboration sur un modèle commun pose également problème au regard du droit d'auteur qu'ils ont sur l'œuvre architecturale : « qui peut prétendre accaparer la propriété intellectuelle du projet résultant [de la collaboration des acteurs] ? » , « peut-on toujours parler d'œuvre ? » (Didelon 2014).

On note donc que la question du BIM divise les architectes : il s'agit d'un sujet qui enthousiasme, qui agace et qui fait peur. Si un « effet de mode » était évoqué au cours des années 2014-2015, la plupart des architectes semblent aujourd'hui s'accorder sur le fait qu'il s'agit d'un enjeu majeur

pour la profession, même si leurs avis divergent sur l'impact de cette transition sur la profession et sur la qualité architecturale.

- Le BIM est devenu un **enjeu important pour le développement du secteur de la construction**. Partout dans le monde, les États mettent en œuvre des politiques incitatives pour accélérer la diffusion des pratiques BIM.
- La France a **intégré le BIM tardivement dans sa stratégie**. Elle commence cependant à être dotée de plusieurs outils (plan BIM 2022, observatoire du BIM, réglementation) préparant la diffusion des pratiques BIM.
- Les **architectes ont réagi de façon assez vive par rapport au BIM** dans les premières années de son intégration dans les stratégies de l'État. Ces **réactions s'expliquent assez bien par l'histoire de l'institutionnalisation de la profession** et celle de la maîtrise d'œuvre. Les enjeux de la diffusion du BIM pour la profession sont nombreux, mais **son impact reste très incertain**.

2.4 Conclusion du chapitre

Le BIM est une technologie de l'information et de la communication qui découle naturellement des évolutions successives de la société et des grandes innovations notamment informatiques qui ont impacté tous les secteurs et toutes les industries. Elle peut néanmoins être qualifiée de technologie de rupture, car elle suppose une organisation du travail et une manière de collaborer des acteurs du secteur très différentes des méthodes employées actuellement. Si un cadre de travail a commencé à être élaboré pour permettre de commencer à mettre en place des pratiques BIM, il reste beaucoup à faire pour qu'elle puisse être opérationnelle. La France a d'ailleurs réagi tard sur le plan politique et a accumulé un retard stratégique par rapport à d'autres États sur ces questions. Mais le BIM se met progressivement en place depuis 2014. Les architectes en France sont divisés sur cette généralisation, et la dimension « rationnelle » de l'organisation du travail associée au BIM pose problème, comme d'autres avant lui.