

Projet National MINⁿD 2014 - 2018

Pré-rapport de synthèse

Version du 23/10/2018

Sommaire

1. RÉSUMÉ / ABSTRACT	3
2. INTRODUCTION.....	5
3. APPORT DE MINND SUR LES PRATIQUES LIÉES AU BIM.....	8
3.1. Guide de mise en place du BIM INFRA	8
3.2. Guide d'application du BIM INFRA	9
3.3. Revue de projet dans un environnement numérique (UC4)	10
3.4. Relevés numériques	11
3.5. Gestion des incohérences	11
3.6. Convergence/Complémentarité des outils/méthodes BIM / SIG	12
4. STRUCTURATION DES INFORMATIONS ET TRAVAUX DE PRÉ-NORMALISATION	13
4.1. Extension des IFC aux domaines des infrastructures	13
4.2. Modélisation des informations pour les infrastructures souterraines (UC8).....	16
4.3. Infrastructures et environnement (UC6).....	17
4.4. Infrastructures routières sur leur cycle de vie complet (UC2)	19
4.5. Structuration des données BIM en phase Exploitation et Maintenance (UC7)	19
4.6. Modélisation des coûts (UC5)	21
4.7. Expérimentations sur les standards CityGML et InfraGML	23
5. ENJEUX JURIDIQUES ET CONTRACTUALISATION AVEC LE BIM	24
5.1. Contexte législatif, réglementaire et institutionnel	24
5.2. Conséquences dans les relations contractuelles	25
5.3. Responsabilité et assurance.....	26
5.4. Propriété intellectuelle et biens immatériels	26
6. OBSERVATOIRE MINND	28
6.1. Description de l'avancée du BIM, indicateurs, évolution des compétences	28
6.2. Séminaires MINnD campus	29
7. TRANSFERT ET VALORISATION.....	30
7.1. EduBIM.....	30
7.2. Actions de valorisation	31
7.3. Livrables.....	31
8. BILAN ET PERSPECTIVES.....	32

I. RESUME / ABSTRACT

Résumé

Introduction (partie 2)

MINnD (Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables – www.minnd.fr), est un projet national de recherche collaborative, mis en œuvre entre 2014 et 2018, qui a contribué au développement du BIM (*Building Information Modeling*) pour les infrastructures, en progressant sur la structuration et l'utilisation des informations à échanger dans les différents projets, pendant leur cycle de vie complet : conception, construction, exploitation et maintenance.

L'apport de MINnD sur les pratiques liées au BIM (partie 3)

MINnD apporte des réponses concrètes dans la mise en œuvre du BIM pour les infrastructures. Le guide de mise en place du BIM et le guide d'application du BIM sont deux livrables autoporteurs qui en témoignent. Ils ont vocation à être diffusés largement, pour accompagner les décideurs et les parties prenantes des projets dans la mise en œuvre du BIM. MINnD fournit également des retours d'expériences et des préconisations sur des sujets d'ordre pratique : la revue de projet dans un environnement numérique, les relevés numériques, la gestion des incohérences ou encore la convergence des outils BIM/SIG.

Structuration des informations et travaux de pré-normalisation (partie 4)

Le projet MINnD a fait de la France l'un des pays les plus impliqués dans les travaux de pré-normalisation. Il apporte une contribution majeure dans les tous les domaines de la norme IFC (*Industry Foundation Classes*) : Bridge, Road, Rail, Tunnel et géotechnique. La problématique de la modélisation de coûts ou encore de l'interaction de l'infrastructure dans son environnement ont également été abordés, notamment à partir de cas d'études concrets. La structuration des données BIM en phase d'exploitation/maintenance a également été traitée.

Contractualisation du BIM (partie 5)

Le déploiement du BIM répond à des objectifs aussi bien techniques qu'économiques. Il concerne l'ensemble des organisations et des métiers, y compris dans leurs relations contractuelles. L'impact potentiel de ces nouvelles relations a été analysé en traitant les aspects liés aux responsabilités, à l'assurabilité et à la propriété de la donnée.

Observatoire (partie 6)

L'observatoire MINnD des évolutions des pratiques et des connaissances autour du BIM a fourni des pistes pour cerner les outils permettant d'évaluer la démarche d'adoption collective du BIM. Il a produit un état de l'art des indicateurs et une réflexion sur l'évolution nécessaire des compétences.

Transfert et valorisation (partie 7)

Des actions de transfert et de valorisation ont été menées pendant toute la durée du projet. MINnD est à l'origine du réseau EduBIM, lieu de rencontres et d'échanges dédié à l'enseignement de la maquette numérique et du BIM.

Perspective (partie 8)

MINnD a répondu à ses objectifs initiaux, et en a même dépassé certains. Projet de référence du secteur de la construction, il mobilise de façon croissante toute la filière française et a acquis une notoriété internationale.

Certains sujets stratégiques, identifiés pendant le projet et nécessaires à la continuité numérique pour les infrastructures, n'ont pas été traités, ou partiellement. Une extension du projet sur la période 2019-2021 est donc proposée pour répondre au besoin et à cette demande en expansion.

Abstract

Introduction (part I)

MINnD (Interoperable Information Modeling for Sustainable Infrastructure – www.minnd.fr), is a collaborative National Research Project, performed between 2014 and 2018, which contributed to the development of BIM (Building Information

MINnD's contribution on BIM practices (part 2)	Modeling) for infrastructure, by progressing on structuring and using the information to be exchanged in the projects, during their complete lifecycle: design, construction, operation and maintenance. MINnD provides answers in the practical implementation of BIM for infrastructure. The BIM Implementation Plan and the BIM Execution Plan are two deliverables that are to be disseminated widely, guiding all the stakeholders, including owners, in the implementation of BIM. MINnD also provides feedback and guidelines on practical topics: project review in a digital environment, digital acquisition, inconsistency management or convergence of BIM / GIS tools.
Information structuring and pre-standardization work (Part 4)	MINnD project has made France one of the most involved countries in pre-standardization work. It provides a major contribution in all areas of the IFC standard (Industry Foundation Classes): Bridge, Road, Rail, Tunnel and Geotechnical. The problem of cost modelling or interaction of infrastructure in the surrounding environment was also addressed, particularly from case studies. The structuring of BIM data in the operation / maintenance phase was also discussed.
BIM contracting (Part 5)	The deployment of BIM meets both technical and economic objectives. It affects all organizations and businesses, including in their contractual relations. The potential impact of these new relationships has been analyzed by addressing aspects related to the responsibilities, insurability and ownership of the data.
BIM infra Observatory (Part 6)	The MINnD Observatory of the evolutions of practices and knowledge around the BIM has provided tracks to identify tools for evaluating the approach of the collective adoption of BIM. It produced a state of the art of indicators and a reflection on the necessary evolution of skills.
Dissemination (Part 7)	Dissemination actions were carried out throughout all the duration of the project. The project is at the origin of the EduBIM network dedicated to the teaching of BIM.
Assessment and perspectives (Part 8)	MINnD has met its initial objectives and has even exceeded some. Reference project of the construction sector, it mobilizes in a growing way all the French sector and acquired an international notoriety. Some strategic topics, identified during the project and necessary for digital continuity for infrastructure, have not been addressed, or partially. An extension of the project over the period 2019-2021 is therefore proposed to meet the growing need and demand.

2. INTRODUCTION

Le projet national MINnD La qualité de l'échange de l'information La contribution de MINnD COMMUNIC à l'origine du projet MINnD	MINnD (Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables – www.minnd.fr), est un projet de recherche collaborative, labellisé « Projet National » par le comité d'orientation du réseau RAGC (Recherche appliquée en génie civil) en 2013 et mis en œuvre entre 2014 et 2018. Il répond à un défi majeur auquel doit faire face le secteur des travaux publics : l'utilisation massive du numérique dans ses métiers pour la conception, la construction et l'exploitation des infrastructures. La diversité des acteurs publics et privés impliqués dans les projets, dans toutes leurs phases, impose à ce secteur de s'organiser pour assurer une qualité suffisante d'échange des informations entre ces acteurs. C'est un préalable à l'optimisation des projets, à l'amélioration de la compétitivité des entreprises, et à l'accélération de la démarche de l'aménagement durable. Cette diversité d'acteurs s'est pleinement retrouvée dans MINnD. MINnD a contribué à répondre à des objectifs partagés par un grand nombre d'acteur du secteur : • Maîtriser et structurer les informations à échanger par tous les acteurs, sur le cycle complet de l'infrastructure (conception, construction, exploitation, maintenance) ; • Spécifier les outils à développer pour intégrer les processus et les méthodes de travail ; • De manière plus générale, contribuer au développement du BIM (<i>Building Information Modelling</i>) pour la transition numérique et énergétique des infrastructures et de l'aménagement durable. De 2008 à 2010, le projet ANR COMMUNIC a regroupé des constructeurs, concepteurs, centres techniques et laboratoires pour développer une première réflexion sur les besoins, la valeur ajoutée recherchée, les méthodologies et les recommandations techniques autour de la modélisation des données, la maquette numérique et les standards d'échange. Le projet COMMUNIC constitue d'abord et avant tout, un état de l'art des réflexions du secteur sur la question de la modélisation. Il est à l'origine du projet national MINnD.
Les partenaires MINnD au service d'une recherche collaborative Un projet de 4 M€	Le projet MINnD a été mené dans le cadre d'une recherche collaborative large, mobilisant 71 partenaires, de toutes représentativités, dont l'activité est liée à la conception, à la construction et à l'exploitation des infrastructures : maîtres d'ouvrages, exploitants d'infrastructures, ingénieries, industriels, éditeurs de logiciels, entreprises de travaux, organismes de recherches, bureaux de contrôle. Son mode de fonctionnement unique, autonome et souple, propre au dispositif des projets nationaux, lui a permis d'atteindre la plupart des objectifs qu'il s'était fixés. La mutualisation des ressources de l'ensemble des partenaires a permis de mettre en œuvre un programme de recherche de près de 4 M€ sur 4 ans, financés principalement par les membres du projet. Le projet a bénéficié d'un soutien du Ministère de la transition écologique et solidaire (Direction de la recherche et de l'innovation et Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer).



71 PARTENAIRES



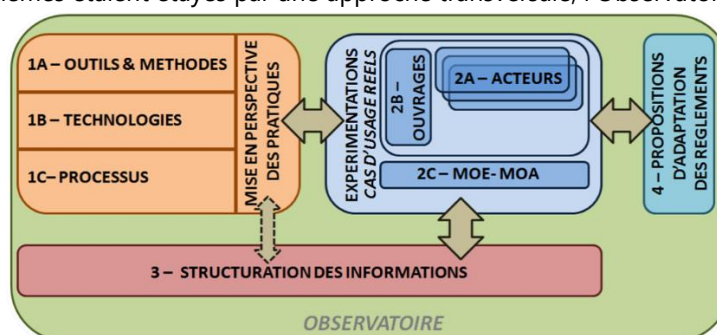
Organisation de la recherche

Le programme de recherche de MINND était structuré autour 4 thèmes principaux, dont les développements sont synthétisés dans ce document :

- Thème 1 : mise en perspective des pratiques : Outils, Technologies et Processus
- Thème 2 : expérimentations au sein de cas d'usage réels
- Thème 3 : Structuration des informations
- Thème 4 : Propositions d'adaptation des règlements

Ces 4 thèmes étaient étayés par une approche transversale, l'Observatoire.

Les thèmes de recherche MINND



Dans la pratique, les travaux du thème 2 « Expérimentations » d'outils, de méthodes et de simulations de processus, ont été menés en interaction très forte avec les thèmes 1 et 3. Ils sont donc décrits au fil des parties 2 (L'apport de MINND sur les pratiques liées au BIM) et 3 (Structuration des informations et travaux de pré-normalisation).

Les Cas d'Usages

Afin d'impliquer l'ensemble des partenaires au plus tôt et de manière concrète, le programme de recherche MINND a été décliné, dès le départ, en cas d'usages (Use Case – UC) théoriques dont les travaux ont permis d'alimenter les thèmes ou réflexions plus générales du projet :

- UC1 – Cas d'usages normalisés appliqués aux infrastructures
- UC2 – Cycle de vie des chaussées
- UC3 – IFC Bridge
- UC4 – Revue de projet
- UC5 – Maîtrise des coûts par la modélisation
- UC6 – Infrastructures dans leur environnement
- UC7 – Vie de l'ouvrage

Les groupes de travail

- UC8 – Infrastructures souterraines

Chaque thème et cas d'usage a été traité par un groupe de travail réunissant un panel d'experts qui ont synthétisé leurs travaux dans des livrables. Plus de 300 personnes ont été impliquées dans le projet. Il faut souligner, dans chaque groupe de travail, la diversité et la complémentarité des compétences des experts mobilisés.

Livrables

Les travaux de MINnD ont abouti à la publication d'une trentaine de livrables accessibles publiquement sur le site internet du projet :

www.minnd.fr/publications/livrables

Ces livrables font l'objet d'une harmonisation de leur forme et de leur présentation. Les derniers livrables seront publiés début 2019. Par l'aspect volontairement conceptuel et large de leur approche, beaucoup des livrables de MINnD pourront utilement être étendus dans leur application à l'ensemble de la filière construction, au-delà de leur seul objectif initial des infrastructures et des travaux publics.

3. APPORT DE MINND SUR LES PRATIQUES LIEES AU BIM

Introduction

Ce thème de recherche est dédié à des pratiques BIM concrètes ou en expérimentation sur des projets en cours. Il répond à des questions d'actualité afin d'aider les acteurs de la construction à s'approprier les nouvelles technologies mais aussi à mettre en place les processus nécessaires à établir la confiance entre les partenaires engagés dans une démarche sur un projet commun

3.1. Guide de mise en place du BIM INFRA

Préambule

Le Guide de mise en place du BIM pour les Infrastructures (appelé communément BIP, *BIM Implementation Plan*) est un livrable du projet national MINnD, accessible publiquement. Avec pour ambition d'apporter de manière synthétique et vulgarisée des informations techniques, ce guide s'adresse à tous ceux qui s'intéressent au BIM y compris ceux qui n'ont qu'une connaissance théorique des concepts du BIM.

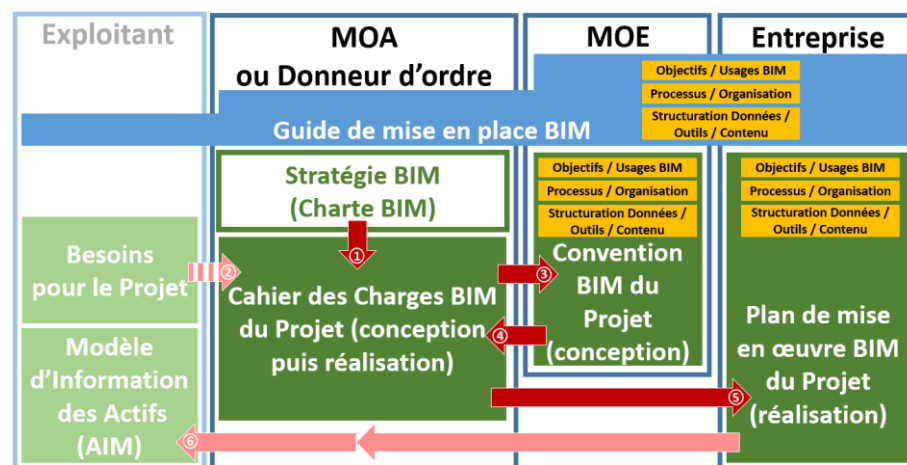
Il complète certains documents existants et notamment le Guide pour l'établissement d'une convention de projet en BIM - V1 de Mediaconstruct – buildingSMART France (paru en avril 2016 et amendé par MINnD en juillet 2016).

Séquençage de mise en œuvre du BIM

L'élaboration des documents permettant la mise en œuvre maîtrisée d'un processus BIM suit en général une terminologie et un séquençage compatible avec le code des marchés publics :

1. Le Maître d'ouvrage élabore sa Stratégie BIM propre,
2. Puis il élabore, ou fait élaborer, dans le cadre d'un projet spécifique un Cahier des Charges BIM (conception) pour consulter un Maître d'œuvre,
3. Le Maître d'œuvre, en réponse au Maître d'ouvrage élabore une Convention BIM, du projet couvrant la phase de conception, répondant au Cahier des Charges (conception),
4. Le Maître d'ouvrage complète alors, autant que de besoin, le Cahier des Charges BIM (réalisation) avant de consulter les entreprises,
5. L'entreprise répond au Cahier des Charges (réalisation) par le Plan de Mise en œuvre BIM.

Schéma de mise en œuvre du BIM



Note: Les numéros correspondent à l'ordre séquentiel d'élaboration des documents

3.2. Guide d'application du BIM INFRA

Projet National MINnD – Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables

	dans le cadre de la conception et de la construction du projet. Il peut, le cas échéant, être établi un pré-Plan de mise en Ouvre du BIM en phase d'appel d'offre qui sera impactant pour la suite du projet.
Structure du Guide d'application du BIM	Le Guide d'application du BIM est structuré autour des 4 chapitres suivants : • Objectifs métiers et Usages du BIM • Organisation et processus : ce chapitre constitue le cœur du document. Il traite par exemple les droits d'accès aux données, les flux et suivis de décisions, les outils de conception/contribution & plateformes collaboratives, les interfaçages avec les systèmes d'information, l'hébergement, les plateformes d'échanges ou encore la gestion des évolutions organisationnelles. • Structure des données et contenu des échanges • Considérations administratives

3.3. Revue de projet dans un environnement numérique (UC4)

Préambule	Dans la conduite des projets, les revues de projets sont des jalons privilégiés de la confrontation des points de vue des acteurs entre eux. Ce sont essentiellement pendant ces instances que se confirment la validité et la pertinence des solutions conceptuelles et de construction. C'est pourquoi une maquette BIM représentant visuellement la construction et donnant accès aux informations associées est un outil d'un grand potentiel. Il convient donc de l'examiner en détail.
État des lieux	États de l'art, réglementations bonnes et mauvaises pratiques issues de certains projets en cours ou finalisés ont été analysés sous différents angles. Il ressort de cette analyse préalable que : • Les situations sont infiniment diverses, • On est loin d'avoir trouvé à ce jour des solutions totalement généralisables, sûres et fiables. Le caractère nécessairement coopératif introduit par les modèles et maquettes de référence impose de : • Réviser les pratiques, • Trouver de nouvelles modalités de régulations contractuelles, • Bien organiser la participation de tous les acteurs y compris le maître d'ouvrage, • Bien préciser les objectifs recherchés lors de l'introduction d'une maquette numérique et d'un processus BIM (modélisation des informations de construction).
La revue de projet dans l'environnement du numérique selon le cycle de vie	Un schéma construit à partir d'un logiciel qui propose une représentation nommée « carte mentale » a permis de rendre compte des divers angles d'approche adoptés pour structurer la réflexion générale. Le travail a largement fait appel à des concepts qui ont fait leurs preuves dans l'industrie et qui relèvent de l'ingénierie des systèmes. Les points saillants de l'analyse montrent les avantages à : • Initier la démarche le plus tôt possible dans un projet,

	• Veiller à la présence à tous les moments de tous les points de vue, • Mener des revues très régulièrement pour vérifier la satisfaction des exigences, selon un processus planifié, itératif et progressif.
Guide de la revue numérique de projet d'infrastructure	Le guide d'expérimentation de la revue de projet numérique de projet d'infrastructure, livrable autoporteur du projet national MINnD, est le fruit des réflexions menées par un groupe de travail dédié, à partir d'expérimentations et d'un travail de conceptualisations. Ce sujet traite de tout le cycle de vie d'une infrastructure, de la programmation à la réception des ouvrages. Les aspects d'exploitation, de maintenance et de déconstruction doivent donc être étudiés et solutionnés durant la conception et la construction. Le guide traite à la fois : • De la revue de projet dans le management de projet, • Du principe de fonctionnement de la revue, • Du processus à mettre en œuvre.

3.4. Relevés numériques

Connaissance de l'état initial des infrastructures	Un projet de construction réussi est un projet basé, entre autres, sur une bonne connaissance de l'état initial de l'environnement qui l'entoure et des structures existantes. Les retours d'expériences sur les grands projets confirment que le décalage entre la représentation de l'existant sur les plans de conception et la réalité sur le terrain peut avoir des conséquences néfastes. Le constat est que les entreprises de travaux se trouvent souvent dans l'obligation de refaire un levé topographique et de reprendre une partie de la conception en phase d'études d'exécution pour la rendre compatible avec l'existant.
Apport de MINnD	MINnD apporte dans ce livrable une démarche d'aide à la compréhension de la demande du client par le prestataire et des conseils au client pour choisir une prestation adéquate. Il fournit un certain nombre d'informations ou de bonnes pratiques sur les technologies, l'acquisition de la donnée, son traitement, ou encore le lien avec la maquette BIM. Cette action a vocation à être poursuivie dans un thème plus large, celui de la modélisation de l'existant, dans le cadre du projet MINnD Saison 2. (cf. § 8)

3.5. Gestion des incohérences

	La gestion des incohérences est un cas d'usage incontournable, réclamé par la majorité des projets de construction qui utilisent une démarche BIM. Ce cas d'usage est l'évolution naturelle de la cellule synthèse, dont les missions sont de détecter les conflits aux interfaces entre les différents corps de métier. La gestion des incohérences permet de détecter d'une manière plus efficace et exhaustive les conflits et les incohérences de conception, pendant chacune des phases d'un projet de construction.
Méthodes et outils	MINnD fournit des méthodes, outils de contrôle, aides au choix et spécifications pour les différentes phases du projet

Gestion des incohérences

- Phase programmation/concertation ESQ/AVP (données cartographiques, topographiques ;
- Phase conception PRO/DCE ;
- Phase exploitation.

Il propose également un processus de gestion des incohérences afin de les résoudre, avec des outils appropriés et des processus à mettre au point en fonction des outils choisis, des formats de données manipulés, des plateformes collaboratives mises en œuvre. MINnD apporte des éléments de réponse en ce sens.

3.6. Convergence/Complémentarité des outils/méthodes BIM / SIG

Workshops MINnD BIM / SIG

Une infrastructure, qu'elle soit urbaine, semi-urbaine ou interurbaine, est nécessairement ancrée dans un territoire, donc en lien direct avec de l'information géographique. Il faut par conséquent s'intéresser à la connexion entre le monde du géo-spatial et celui de l'infrastructure, pour être sûr de pouvoir la placer dans son environnement qu'il soit proche ou à l'échelle d'un territoire plus vaste.

MINnD a été l'un des pionniers dans la conduite de travaux vers une convergence des outils BIM et SIG (Systèmes d'Informations Géographiques), puisqu'il a permis de mener ces réflexions dès 2015, notamment en fédérant les acteurs concernés sur le plan national et sur le plan international. A ce titre, MINnD, via certains de ses partenaires, est actif au sein :

- de l'*Open Geospatial Consortium* (OGC), consortium international pour développer et promouvoir des standards ouverts dans les domaines de la géomatique et de l'information géographique
- et du Conseil National de l'Information Géographique (CNIG).

Le fait que MINnD a été partenaire et contributeur de la Journée Interopérabilité et Innovation (J2I) « Convergence GIS-BIM » co-organisée par le Forum Français de l'OGC et la Commission de Normalisation de l'Information Géographique et Spatiale de l'AFNOR le 7 Novembre 2017 à l'Ifsttar a été très bien reçu dans les communautés concernées.

MINnD a par ailleurs organisé deux workshops dédiés à la convergence des outils BIM et SIG. A chacun de ces workshops, des éditeurs de logiciels se sont prêtés à l'exercice de présenter leurs réflexions et leurs avancées en la matière, notamment par des retours d'expériences et des démonstrations.

Les travaux de ce groupe de travail seront prolongés pendant MINnD Saison 2, afin de faire des préconisations en termes de représentation et d'affichage de données d'un système dans l'autre.

4. STRUCTURATION DES INFORMATIONS ET TRAVAUX DE PRE-NORMALISATION

L'interopérabilité grâce à la modélisation

Les travaux de MINnD ont conduit BuildingSmart International à entreprendre l'extension aux infrastructures de la norme IFC (*Industry Foundation Classes*), norme ISO d'échange de données. Tout au long du projet MINnD se sont développées des actions visant à intégrer au périmètre des IFC les ouvrages d'art, les routes, le rail et finalement tout ce qui touche aux infrastructures. L'objectif est de pouvoir présenter à l'ISO (*International Organisation for Standardization*) une norme IFC étendue aux infrastructures à l'horizon 2020-2021. La contribution de MINnD en matière de pré-normalisation dépasse largement les objectifs fixés au démarrage du Projet National.

La problématique de la modélisation de coûts ou encore de l'interaction de l'infrastructure dans son environnement ont également été abordés, notamment à partir de cas d'études concrets. La structuration des données BIM en phase d'exploitation/maintenance a également été traitée.

4.1. Extension des IFC aux domaines des infrastructures

Normaliser pour permettre l'interopérabilité et la pérennité des informations

La continuité numérique entre les acteurs des projets d'infrastructures passe nécessairement par la normalisation des échanges, garantie de l'interopérabilité et de la pérennité des systèmes d'information délivrés grâce au BIM. Si l'interopérabilité passe par la modélisation des informations et des échanges, seuls des normes internationales peuvent garantir **neutralité et pérennité**. L'open BIM permet au gestionnaire d'infrastructure de réceptionner un ouvrage numérique (le jumeau de l'ouvrage réel) avec l'assurance de pouvoir l'utiliser tout au long du cycle de vie sans être prisonnier d'un outil propriétaire donnée.

Le Projet MINnD, dont la modélisation est le sujet premier, a donc trouvé son débouché naturel dans la normalisation. Un deuxième débouché à la modélisation est apparu, au contact des vendeurs de solutions logicielles : la mise à disposition de spécifications techniques primordiales pour l'évolution de ces différents outils.

Les travaux de MINnD répondent donc à un double besoin :

- Un engagement sur la qualité de l'interopérabilité, autrement dit, sur les conditions de création de la confiance grâce à l'intégrité des données échangées pouvant passer par des procédures de certification de la qualité des échanges.
- Un engagement à étendre le domaine des échanges, par l'accroissement de la qualité de la sémantique associée aux modèles numériques.

La norme IFC

Les IFC (*Industry Foundation Classes*) sont aujourd'hui définies dans la norme ISO 16739 reconnue et utilisée par un grand nombre d'acteurs du secteur de la construction des bâtiments. Il s'agit tout autant d'un modèle conceptuel de données orienté objet qu'un protocole d'échange des informations entre les acteurs des projets et interopérable avec les solutions logicielles.

Spécificité des infrastructures

Les travaux sur ce standard s'attachent à prendre en compte les spécificités des infrastructures linéaires.

Le contexte international

Plusieurs initiatives ont été engagées au niveau international dans le cadre de l'InfraRoom de *BuildingSMART International* (bSI) pour étendre les IFC aux domaines des infrastructures : IFC alignment, IFC Road, IFC Rail, IFC Bridge, IFC Tunnel.

MINnD : la contribution française

La France apporte une contribution majeure au niveau international sur le développement des IFC Bridge, IFC Rail et des IFC Tunnel par l'intermédiaire du projet national de recherche MINnD qui a fourni des avancées significatives sur la base de quatre années de travaux. C'est un représentant de MINnD qui assure la direction technique de ces développements.

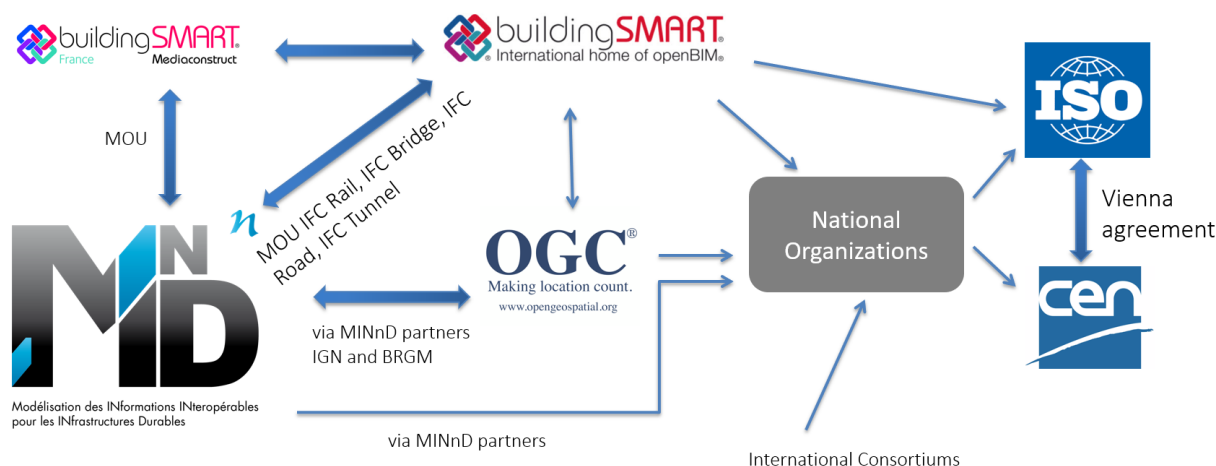
Collaboration MINnD-bSI

Plusieurs conventions de collaboration entre l'organisme de pré-normalisation bSI et MINnD ont été formalisées pour participer aux projets internationaux IFC bridge, IFC Road et IFC Rail. D'autres sont en discussion, notamment IFC Tunnel.

Collaboration MINnD-bSF

MINnD a également construit une collaboration avec buildingSMART France (ex Mediaconstruct) qui est le chapitre français de bSI, de manière à :

- Porter des actions en commun dans les différentes instances de pré-normalisation – notamment buildingSMART International - en direction des différents groupes de l'ISO et du CEN.
- Partager les efforts de communication, notamment événementielle pour en démultiplier la portée.



Positionnement de MINnD dans le processus de normalisation. MOU : *Memorandum of understanding* (protocole d'accord)

Contribution de MINnD à l'extension des IFC pour les ponts (IFC Bridge)

Les travaux de MINnD (groupe de travail UC3) pour les IFC Bridge ont consisté en :

- L'analyse des classes IFC existantes pour les ponts
- L'analyse des classes IFC-Bridge manquantes
- La définition des concepts manipulés (dictionnaire des données) pour décrire l'ouvrage et ses comportements et des besoins des utilisateurs finaux. Un dictionnaire de données a été constitué d'une liste classifiée d'objets et de leurs attributs qui décrivent les relations entre les objets, ainsi que leurs propriétés. Il permet ainsi de partager avec plus de facilité et d'échanger des informations sur les objets constituant un ouvrage d'art, mais aussi de pérenniser l'information le décrivant, afin d'assurer son exploitation et sa maintenance, voire sa déconstruction

- La description des échanges et filtres nécessaires : IDM (*Information Delivery Manuel*) et MVD (*Model View Definition*)
- La fourniture de la méthodologie utilisée pour décrire les classes IFC requises
- La méthodologie pour alimenter « en masse » le bsDD à partir d'une base descriptive des objets d'un domaine complet

Les travaux se poursuivront au-delà de 2018, notamment pour implémenter les concepts proposés dans le *buildingSMART data dictionary* (bsDD : le dictionnaire des données de *buildingSMART International*).

Contribution de MINnD à l'extension des IFC aux infrastructures ferroviaires (IFC Rail)

Certaines particularités sont propres au domaine ferroviaire : l'histoire, son organisation et ses technologies en font un domaine doté de son propre référentiel dans une organisation spatiale originale. C'est une architecture en réseau, découpée verticalement entre le génie civil, l'équipement ferroviaire et le matériel roulant. Faire collaborer les différents acteurs de chaque strate dans le cadre d'une normalisation commune est un enjeu en tant que tel dans ce projet.

L'extension des IFC au domaine des infrastructures ferroviaires répond aux objectifs suivants :

- Étendre le schéma IFC actuel au domaine de la construction et de la maintenance des infrastructures ferroviaires, en créant un standard « IFC Rail Candidate ».
- Participer et contribuer au développement du schéma commun IFC, afin de trouver les concepts communs aux extensions de schéma IFC proposées, telles que l'ouvrage d'art, la route, le rail et le tunnel.
- S'appuyer sur un consensus international pour l'extension du schéma IFC proposée pour l'ingénierie ferroviaire.
- Contribuer à l'adoption de l'extension du schéma IFC Rail, en permettant l'expérimentation et le déploiement dans les logiciels.

Cette action a été initiée en 2017 et a vocation à être poursuivie dans le cadre du projet MINnD Saison 2. (cf. § 8).

Contribution MINnD à l'extension des IFC aux infrastructures routières (IFC Road)

L'objectif de cette action est de participer :

- Aux spécifications vers un modèle conceptuel de données pour les infrastructures routières ;
- A la structuration du dictionnaire de données de buildingSMART International (*buildingSMART data dictionary* – bsDD) ;
- A la validation de la méthode de définition des besoins en échange d'informations.

Cette action rentre dans la continuité des développements présentés au § 0. Elle a été initiée en cours de l'année 2018 et a vocation à être poursuivie au-delà de 2018 dans le cadre du projet MINnD saison 2.

4.2. Modélisation des informations pour les infrastructures souterraines (UC8)

Le champ des infrastructures souterraines (UC8)

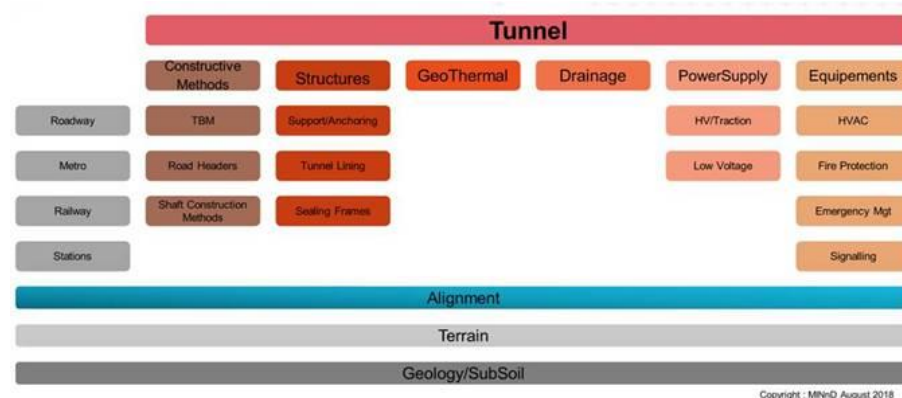
Cette action initiée en cours de projet grâce à l'impulsion du partenaire ANDRA s'est intéressée à la description des infrastructures souterraines (tunnels, puits, rameaux) et de leur environnement. Elle a permis de proposer une pré-normalisation d'un ensemble d'entités susceptibles de décrire les composants de tels projets (génie civil et équipements) mais aussi l'environnement au sens général (sol / sous-sol naturel et avoisinants) avec un focus sur la partie avant-projet et projet aboutissant à la formalisation des pièces de marché pour le choix des entreprises de construction. Ces domaines ont été traités par deux groupes de travail coordonnés :

■ Génie civil et équipements souterrains

Décomposition en sous-systèmes fonctionnels

Ce groupe de travail a d'abord défini, à défaut de référence existante, la décomposition d'une infrastructure souterraine équipée d'un transport guidé en un ensemble de 12 sous-systèmes fonctionnels regroupés en 2 catégories :

- le génie civil (soutènement, revêtement, étanchéité, espaces des circulations, dispositions constructives)
- les équipements (assainissement, géothermie, ventilation, énergie, défense incendie, secours-évacuation, EEG).



Description des sous-ensembles avec le formalisme IFC

Le cheminement suivi pour expliciter et consolider la description de ces sous-ensembles fonctionnels a consisté à dérouler les étapes suivantes :

- 1 – Description des échanges entre concepteurs de chacun des sous-systèmes (production des IDMs)
- 2 – Décomposition organique de chacun des sous-systèmes et analyse de leur cohérence, avec explicitation des échanges interphases au niveau des entités et caractérisation de leurs propriétés
- 3 – Production d'un dictionnaire de données pour la préparation du déversement dans le bsDD (au format bSI via un script développé pour MINnD).

Spécification de nouvelles classes d'objet IFC

De nouvelles classes d'objets IFC ont été proposées. Elles sont nécessaires pour assurer la production d'échanges en capacité de porter les entités et leurs caractéristiques.

Les démarches pour un consensus international

Un plan d'action a été mis sur pied pour rencontrer les homologues internationaux de manière à obtenir un consensus international autour des préconisations de MINnD/UC8. L'adhésion des chemins de fer Suisses (CFF/SBB), en ressources techniques comme en apport financier, semble acquise.

Standardisation des données pour les géosciences

▼ Géotechnique et environnement

Ce domaine « Géotechnique et environnement » a été structuré autour de neuf sujets : reconnaissances terrain ; modélisation géologique, hydrogéologique et géotechnique ; dimensionnement des infrastructures, choix des méthodes de construction ; détermination de la pollution du sol et gestion des terres excavées, impact sur les avoisinants ; gestions des risques. Les principales sources d'inspiration / expérience des participants incluent les projets de grands tunnels (type Lyon-Turin), de grands projets urbains (type Grand Paris) et d'infrastructure souterraines complexes (CIGEO), principalement équipés de rail par la suite, le tout aussi bien en France qu'à l'étranger.

Des *Information Delivery Manuals* (IDM) incluant une *process map* couplée à un glossaire ont été réalisés pour chacun des sujets. Ils ont permis d'identifier les échanges de données entre les différents acteurs.

Un effort tout particulier a été fait sur l'inscription des travaux dans les initiatives existantes pour la standardisation des données pour les géosciences, menées notamment au sein de l'*Open Geospatial Consortium* (OGC).



Des discussions sont en cours afin d'étendre le travail de l'UC8-GT à l'international et ainsi aboutir à une description standardisée des données géotechniques. Les échanges se font via l'*Integrated Digital Built Environment* (IDBE), groupe joignant l'OGC et BSI.

4.3. Infrastructures et environnement (UC6)

Des échanges réussis entre les domaines de conception

Les méthodes de travail actuelles pour la conception des infrastructures ont recours à des échanges réussis entre les domaines de conception. Les fichiers de chaque corps de métier doivent souvent être transformés avant d'être compilés ou ressaisis du fait des incompatibilités entre les logiciels et les formats. Ces manipulations entraînent une perte de temps et une dégradation des informations contenues dans les fichiers d'origine, ce qui augmente le risque d'erreur.

Données environnements

Les études menées dans le cadre du groupe de travail MINnD/UC6 ont permis d'analyser les flux d'échanges autour des données environnementales des projets, en particulier :

- D'identifier les points de blocage existants.
- De déterminer quelles sont les évolutions de méthode de travail à mettre en œuvre pour fluidifier les échanges

Cas d'études

Trois cas d'études ont alimenté ces travaux :

▼ Etude acoustique

Par rapport à la méthodologie et aux hypothèses d'une étude acoustique, le cycle de vie des données d'études de bruit pour un projet d'infrastructure linéaire a été riche d'enseignement.

▼ Mesures environnementales.

Ce cas d'étude a permis de traiter la problématique du suivi des mesures environnementales mises en œuvre pour réduire et compenser les impacts environnementaux des infrastructures linéaires, du point de vue :

- Des échanges de données ;
- Du suivi de l'information, de la traçabilité des décisions et de leurs conséquences ;
- De l'implication des différents types d'acteurs dans la production et l'utilisation des données.

▼ Analyse critiques des outils existants

Enfin, une analyse critique des outils existants a été menée en se basant sur les cas de d'écopont de part et d'autre d'autoroutes :

- Un chiropteroduc fictif sur une portion de la A63 en essayant de répondre à la question : où serait le meilleur endroit pour construire un chiropteroduc pour préserver au mieux les espèces ;
- Un écopont sur une portion de la A64. Ici la question était d'étudier par simulation le meilleur aménagement d'un éco-pont, donc ses raccords avec l'espace environnant pour optimiser son usage.



Modèle 3D de l'écopont prévu sur l'A64 © Setec



Écopont de l'A64 © TerrOïko (Lucie Gendron)

Infrastructures et environnement : les apports de MINnD

Les travaux de MINnD apportent, au travers de ces cas concrets, des éclaircissements sur l'utilisation du BIM comme un vecteur de consolidation des études environnementales (biodiversité dans le cas des exemples étudiés).

Les livrables UC6 permettent également de dégager des pistes en matière de standardisation des échanges et des procédures de contrôle de qualité des informations contenues dans le BIM.

Ces livrables ont aussi un objectif de prospective qui vise à préparer l'intégration des nouvelles technologies, utilisables pour les études environnementales, dans les processus BIM. L'emploi de ces technologies, telles que la simulation numérique pour les espèces animales ou le recours aux outils de génétiques, est facilité par le BIM. L'efficacité des aménagements environnementaux doit s'évaluer sur des temps assez longs, de plusieurs dizaines d'années. Cela nécessite donc de concevoir des bases de données externalisées par rapport aux outils et de décrire les processus afin de pouvoir encore interpréter les données dans plusieurs dizaines d'années. Des préconisations en matière de schéma de données et d'historisation des données sont ainsi proposées.

4.4. Infrastructures routières sur leur cycle de vie complet (UC2)

L'infrastructure routière sur son cycle de vie	Ce cas d'usage UC2 concerne le domaine des chaussées d'une infrastructure linéaire et son développement, tout au long du cycle de vie de l'infrastructure : • Depuis la programmation, la conception, la construction. • Et jusqu'à l'exploitation, l'entretien, la rénovation et la maintenance.
État de l'art	La description de l'existant dans le domaine de la gestion des infrastructures routières est un préalable à la structuration des informations manipulées. Les aspects suivants ont été abordés : • Les acteurs de la gestion des routes sur leur cycle de vie. • Les informations échangées par ses acteurs. • Les processus par lesquels se font ces échanges. • Les outils d'échange actuels.
Structuration des données des chaussées	Le cas d'usage UC2 dresse un point de la situation dans le contexte français d'abord, européen puis international. Bien entendu, il tire parti des projets et initiatives antérieurs et en cours. Une structuration des données des chaussées relatives à un projet routier dans le contexte d'un modèle BIM a été proposée. La démarche a consisté à : • Lister de manière exhaustive les données nécessaires à la réalisation d'un projet, en les affectant à des objets issus de la structure de la route ; • Identifier les flux d'échanges par phase de projet.
Modèle de métadonnées	Cette démarche a permis d'aboutir à un modèle de métadonnées formalisé par une matrice. Ce modèle porte sur toutes les catégories de route (Autoroutes, RN, RD, voies urbaines), avec les référentiels et standards correspondants. Il couvre à la fois les ouvrages neufs et existants. Sont également proposées une représentation des points de vue, des informations échangées, et une modélisation des processus clés.
Gestion des exigences et des décisions	Le travail a été complété par : • La Gestion des exigences et des décisions, sur tout le cycle de vie de la chaussée. • L'application des outils de PLM existants pour la représentation des processus clés.

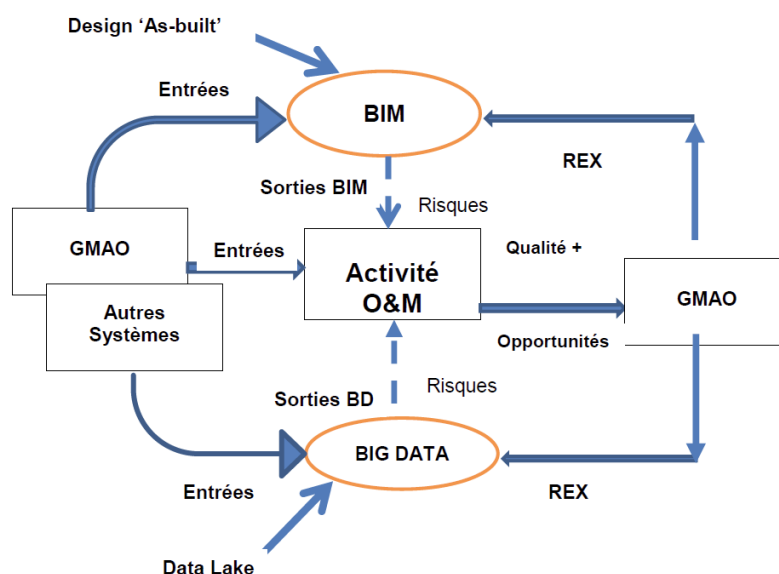
4.5. Structuration des données BIM en phase Exploitation et Maintenance (UC7)

BIM et GMAO	Le BIM était vu, encore il y a peu, comme un outil essentiel en phases de pré-étude, conception et construction. On peut y ajouter la phase de maintenance si le lien entre le BIM et la GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) de l'activité de maintenance peut être effectué. L'émergence du Big Data, accompagné par l'IoT (<i>Internet of Things</i>), ouvre la porte à l'acquisition et au traitement de plus de données/informations utiles pour les activités de l'exploitant. Il viendront enrichir la GMAO et le BIM. Le cas d'usage UC7 a permis de mettre en avant la façon dont les outils Big Data et BIM représentent une solution à l'amélioration des activités pour l'exploitation et la maintenance, à travers des opportunités bien ciblées.
--------------------	---

Description des processus

Le travail a consisté à mettre chaque activité au cœur de la réflexion et d'énumérer les informations, les sources et les ouvrages concernés par les processus aux différentes étapes de la vie des ouvrages. Pour chacune des activités, les données d'entrée ont été identifiées avec leur source ainsi que la façon dont les processus BIM et Big Data les transforment en information de sortie avec leur destination. Les activités ont été décomposées selon les processus suivants :

- Viabilité – sécurité
- Maintenance courante des Infrastructures
- Maintenance courante des Equipements
- Gros Entretien et Renouvellements



Flux de données consommées par les activités (données d'entrée) et données produites (données issues de l'activité)

Analyse comparative pour les chaussées

Afin d'identifier les données à gérer dans la maquette numérique pour un exploitant, la réflexion a été restreinte à un cas d'étude « Chaussée », dans la continuité des travaux de l'UC2 (cf. § 0). Le croisement des résultats avec le référentiel construit a permis de faire ressortir les manques à combler pour satisfaire le besoin d'un exploitant : il s'agit des objets qui permettraient de tracer toutes les actions et événements qui affectent directement le référentiel « chaussée ».

La solution imaginée s'inspire des fonctions de « change management » qui proviennent du PLM (*Product LifeCycle Management*). Les objets suivants sont proposés :

- Événements : tout événement qui pourrait impacter la chaussée à proprement dite : faïençage, accident, animaux sur la chaussée...
- Interventions : pour réagir aux événements, l'intervention humaine est nécessaire : intervention sur accidents, travaux, GER...
- Balisages : pour certaines interventions, telles que celles liées aux accidents, un balisage de la route est nécessaire.

Opportunité du BIM et du Big Data

De manière plus générale, les opportunités liées à la mise en œuvre du BIM et du Big Data en phase d'exploitation & maintenance sont nombreuses.

Pour le Big Data, les opportunités identifiées permettent d'analyser des informations riches, construites à partir de plusieurs sources (même externes), avec l'objectif de mieux optimiser la planification des interventions des agents, de mieux prévoir les événements à venir et d'anticiper par la même occasion leurs contraintes.

Quant au BIM, sa mise en œuvre permettra de placer un référentiel central à toutes les informations gérées pour les éléments du patrimoine, au service des outils GMAO qui eux restent l'outil de travail quotidien d'un exploitant mainteneur. Le couplage de ces outils permettrait une meilleure exécution et programmation des opérations de maintenance, une identification des conflits, et un meilleur suivi des événements, de leur géolocalisation et de gérer leur historisation.

Pour profiter de ces opportunités Big Data et BIM, il est donc nécessaire de :

- Déployer une maquette BIM avec des passerelles bilatérales avec la GMAO. Certaines informations seront donc hébergées dans la maquette BIM.
- Accompagner la mise en œuvre du Big Data avec de nouveaux moyens de captation de données (IoT), typiquement instrumentation des talus, tunnels et grands ponts.

4.6. Modélisation des coûts (UC5)

Coût global de l'infrastructure dans ses différentes phases

L'objectif fixé par ce cas d'usage est d'appréhender comment la Maquette Numérique va pouvoir modéliser et gérer le coût global d'une infrastructure dans les différentes phases d'un projet :

- Estimations, Etudes de prix
- Suivi des coûts durant les phases de construction
- Suivi des coûts pendant la phase d'exploitation et de maintenance

Modélisation des coûts en phase conception

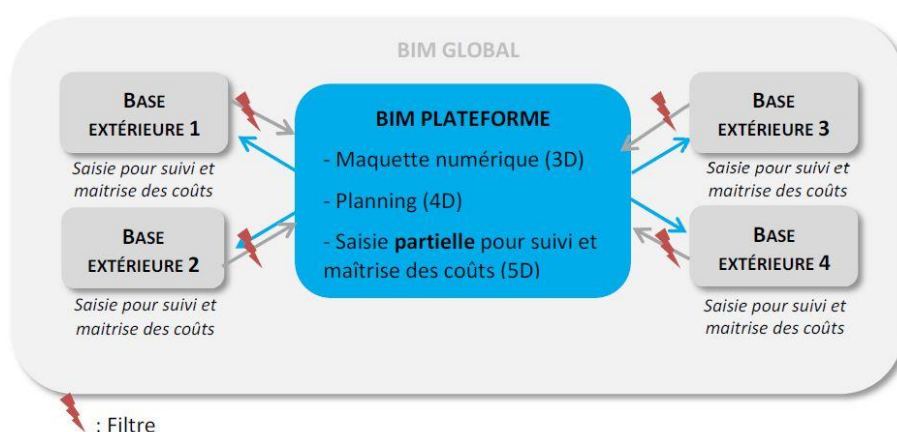
Une liste des éléments pouvant rentrer en compte dans le coût a été établie. Ils sont généralement intégrés dans une base d'article ou catalogue de prix. Cette Base permet d'englober/hierarchiser les prix et de faire le lien avec la maquette numérique (notion de liaison avec le code article). Plusieurs questions en découlent, auxquelles MINnD n'a pas encore répondu :

- Ce catalogue de prix doit-il être normalisé ?
- Ce catalogue de prix doit-il être intégré dans la maquette numérique ou externalisé ?
- Evolution possible du catalogue de prix en fonction de la phase de conception (ESQ / APS / APD / PROJET...)

Modélisation des coûts en phase construction

Les réflexions sur la phase de construction ont permis de mettre en évidence le suivi budgétaire d'un projet et aussi comment les échanges peuvent être numérisés. La mise en place d'un BIM « plateforme » autour duquel sont connectées des bases de données semble la plus adaptée :

Un BIM « plateforme »
autour duquel sont
connectées des bases de
données



Une trame commune
pour l'ensemble des
acteurs

Le contrôle budgétaire nécessite la mise en place avant ou au tout début de l'exécution des travaux d'une trame connue par l'ensemble des acteurs qui interviendront dans le contrôle budgétaire. Cette trame permettra aux acteurs (fournisseurs d'informations pour le contrôle budgétaire) de connaître le type d'information à transmettre, la fréquence souhaitée, les modalités (outils utilisés, circuits de transmission avec validation, etc). La trame sera constituée des éléments suivants :

- définition du découpage géographique ou fonctionnel du projet ;
- base de données des coûts ;
- organisation des processus de saisies et de validations ;
- planning

Modélisation des coûts en phase exploitation et maintenance

Les réflexions sur cette phase ont permis de mettre en évidence les remontées d'informations financières en phase d'exploitation et de maintenance qui peuvent être structurées avec l'aide d'une organisation BIM. L'objectif de l'exploitant est de s'assurer que la démarche pilotée par les concepteurs / constructeurs intègre dès l'amont ses besoins en termes de formats / attributs de données et en termes d'architecture.

Le livrable MINnD propose une analyse de manière pragmatique des architectures proposées pour la plateforme BIM en ce qui concerne l'application Gestion du Patrimoine, propose des pistes de réflexion sur l'évolution de la maquette numérique et identifie les principaux challenges qu'il faudra relever pour conserver les bénéfices de la maquette numérique dans la longue échelle de temps des infrastructures.

LOP (Level Of Price)

Les réflexions menées dans ce groupe de travail ont conduit à faire émerger la notion de « Niveau de Prix » (LOP, *Level of Price*), par analogie avec celles de LOD (*level of definition, level of development*) ou de LOIN (*level of information need*). En effet, la nature du besoin et de la précision de l'information économique sur le projet évolue plus ou moins en parallèle avec l'avancement du processus de conception, puis d'exploitation, voire d'exploitation.

4.7. Expérimentations sur les standards CityGML et InfraGML

Démarche	A l'heure actuelle, CityGML est le seul standard pouvant importer un modèle 3D avec le bâti, la géométrie et le trafic des routes et voies ferrées. Une étude sur l'interopérabilité de ce standard avec des outils d'ingénierie a été réalisée.
Cas d'étude	L'interopérabilité du CityGML avec l'outil acoustique CadnaA et son utilisation dans des processus utilisant d'autres formats de données ont été étudiées. L'avantage du standard est de pouvoir avancer la phase de traitement des données (phase initiale et projet), éviter les reprises de données et permettre l'échange de ces données en CityGML avec les différents acteurs. Les données CityGML peuvent aussi servir à d'autres maquettes numériques afin de modéliser l'environnement. Cette étude a permis de montrer que le standard CityGML avec l'ADE Noise est utilisable dans les études acoustiques. Dans ce cas la maquette servirait à la simulation et à la visualisation des études acoustiques mais aussi à modéliser l'environnement d'autres études. Ainsi les données sont réutilisables et nécessitent un seul traitement.
Propositions de modification pour les standards CityGML et InfraGML	Les standards CityGML et InfraGML sont très prometteurs. Des modifications ont été proposées dans le cadre du projet. Dans la version 3.0 de CityGML, prévue pour 2018, l'ADE Noise et l'ADE Dynamizer seront dans le modèle conceptuel de données de CityGML. Ainsi les outils permettront plus facilement d'importer ces extensions car elles seront dans le corps du schéma CityGML.
Limite des outils actuels	Les objectifs du cas d'usage étaient de mutualiser le traitement des données et de faciliter la visualisation des sortants. Les standards répondent à ces objectifs. Concernant l'objectif d'assurer la pérennité des données avec des standards ouverts, l'étude a montré qu'il n'est pas possible d'utiliser tout au long du workflow des standards ouverts il faut passer par de nombreuses conversions.

5. ENJEUX JURIDIQUES ET CONTRACTUALISATION AVEC LE BIM

Préambule	La mise en place d'une stratégie BIM, dont les objectifs sont aussi bien techniques, qu'économiques, a pour effet de modifier en profondeur les relations entre les différentes parties prenantes d'un projet, et donc impacte leurs relations contractuelles. En effet, le BIM est consubstantiel du collaboratif, notion peu juridique et peu usitée en droit. La mise en place de contrats organisant les relations entre acteurs et leur permettant de travailler avec le BIM en confiance nécessite que soient perçus de tous les notions et enjeux juridiques, nouveaux ou non, qu'introduit l'usage du BIM sur un projet. En particulier, les aspects liés aux responsabilités, à l'assurabilité, à la propriété de la donnée, exacerbés par la rapidité et la facilité des échanges électroniques, doivent être pris en compte de façon explicite afin d'éviter la confusion entre l'objectif de collaboration et les intérêts et responsabilités de chacun. Comme souvent lors d'un changement profond des façons de travailler, des questions habituellement éludées au profit des habitudes sont remises en exergue, et peuvent faire l'objet de questionnements nouveaux alors même qu'il n'y a pas de véritable changement sur ce sujet précis : il importe de distinguer ce qui a véritablement changé de ce qui demeure. C'est l'objet du livrable « Aspects Juridiques et Contractuels » de MINnD.
Glossaire	Un glossaire a été rédigé de manière collégiale pour préciser le sens des mots qui sont employés dans les contrats. Un nombre important mais limité de termes a fait l'objet d'un effort de définition en vue de leur compréhension par tous, « BI-Meurs » et « non BI-Meurs ». Il a notamment été veillé à sa compatibilité avec les travaux de normalisation en cours au niveau du CEN. En vue de sa diffusion plus large et de son appropriation par le plus grand nombre, ce glossaire a été transféré à Mediaconstruct-BSF.

5.1. Contexte législatif, réglementaire et institutionnel

Contexte législatif, réglementaire et institutionnel	Les premières bases de l'organisation contractuelle d'un projet, tout particulièrement en marchés publics, figurent dans les textes législatifs et réglementaires. Un examen approfondi des derniers textes publiés (dont certains au cours du projet), a permis de déterminer en quoi il encadrerait, ou non, la mise en place d'une démarche BIM.
Directive européenne et transcription dans la loi française	Le point de départ figure dans la Directive européenne 2014/24 du 26 février 2014 relative à la passation des marchés publics et dans sa transcription dans la loi française (souvent presque mot pour mot). Ces textes laissent à chaque Etat la possibilité de demander l'utilisation du BIM, sous réserve de fournir aux candidats l'accès libres aux outils ou à leurs équivalents jusqu'à ce que ceux-ci soient devenus « communément disponibles ». Par ailleurs, il est spécifié qu'à partir du 1^{er} octobre 2018, tous les échanges doivent être faits par voie électronique.
Le choix du maître d'ouvrage	La France a choisi de ne pas rendre le BIM obligatoire dans les marchés publics, laissant ce choix à chaque maître d'ouvrage. Une étude comparative faite en 2016 sur plusieurs pays européens a montré que ce choix, basé sur le volontariat, et la motivation des parties était pertinent.
Directive Inspire	On peut enfin citer la directive européenne Inspire, relative à la divulgation de l'information géographique, qui impactera les projets utilisant le BIM, notamment d'infrastructure, dans la mesure où ces projets sont intégrés dans un environnement décrit par les outils de l'information géographique.

L'appui des services de l'Etat

Dans un pays encore marqué par la centralisation, l'Etat a un rôle majeur à jouer pour accompagner la transition numérique de la filière en général, et l'adoption du BIM en particulier. La transition vers le BIM, à la fois technologie numérique et spécificité de la filière Construction, relève des compétences de plusieurs ministères, compétences dont le périmètre a lui-même évolué au fil des mandatures sous lesquelles le projet s'est déroulé.

5.2. Conséquences dans les relations contractuelles

Conséquences dans les relations contractuelles

Partir des enjeux

L'analyse des conséquences sur les relations contractuelles s'est d'abord appuyée sur une analyse des enjeux, les notions et concepts sous-jacents au BIM relevant tout autant de considérations sur le modèle de l'objet à construire que sur le processus d'élaboration du dit modèle.

La mise en place d'une stratégie BIM impacte l'ensemble des organisations et des métiers. Les objectifs peuvent être classés en trois grandes catégories : les objectifs techniques et opérationnels, les objectifs juridiques et contractuels et les objectifs juridiques et économiques. Il en découle que :

- l'information doit être structurée et échangeable,
- un environnement de travail collaboratif doit être mis en place. Il nécessite des processus partagés et adoptés par tous les acteurs. Ces processus sont régis par des conventions et des normes,
- les outils et les plateformes logicielles doivent être conformes aux objectifs explicités ci-avant et interopérables.



Différents types de contrats

MINnD s'est dès lors attaché à analyser les conséquences de la mise en place de démarches BIM sur les relations contractuelles. L'analyse a été déclinée selon les différents types de contrats : marché de maîtrise d'œuvre et marché de travaux, marchés globaux, marché de partenariat, contrats de concessions, sous-traitance.

S'appuyer sur des documents explicites

Dès le lancement du marché, le maître d'ouvrage doit définir ses « besoins numériques » notamment le périmètre d'utilisation des données et les cas d'usage de la maquette numérique. Les documents à élaborer sont les suivants :

1. La Convention BIM, définissant les objectifs BIM à atteindre par les acteurs du projet (en termes de communication, synthèse technique, séquences de construction, DOE numérique...). Les exigences techniques sont à formaliser dans le « cahier des charges BIM ». En cas de marché public, le maître d'ouvrage devra respecter les principes de la commande publique dont le principe de neutralité des spécifications techniques.
2. Le guide de mise en œuvre du BIM, document définissant l'organisation progressive mise en place ou à mettre en place par les acteurs, et détaillant les usages BIM, les responsabilités, les outils collaboratifs, les formats et la structure des données échangées, les livrables et leurs échéances... qui constitue la réponse de l'entreprise au maître d'ouvrage.

Ces documents ne sont pas des contrats à part, mais doivent être intégrés à l'ensemble des pièces du(des) marché(s).

5.3. Responsabilité et assurance

Responsabilité	Soumise ou non à l'obligation d'assurance, la réalisation d'un ouvrage transfère à chacun des acteurs un certain nombre de responsabilités. Dès les premiers instants de l'utilisation du BIM, la question s'est donc posée de savoir si de nouvelles responsabilités devaient être envisagées, et si des assurances pouvaient ou devaient être mises en place pour y faire face.
Un outil au service de la conception et de la réalisation d'un ouvrage	L'utilisation d'un nouvel outil est nécessairement source de nouveaux risques mais limités à cette utilisation. La position du groupe de travail est donc claire : le BIM est un outil au service de la conception et de la réalisation, utilisé par chacun des acteurs traditionnels au même titre que d'autres outils, et ne crée pas, dans le cas général, de responsabilité particulière. Il n'y a pas d'impact sur le cœur de la mission des constructeurs qui est de concevoir et/ou de réaliser un ouvrage. Les obligations pesant sur un intervenant à l'acte de construire (conception, exécution) restent identiques quels que soit les moyens qu'il utilise pour y parvenir. Le cas du BIM Manager mérite cependant d'être examiné en détail.
Certains types de risques à considérer	En revanche, certains risques liés à l'utilisation du BIM sont à considérer, tels que le risque de perte ou de dégradation de fichiers, de mauvaise répartition des tâches, de non détection de clash ou de déni d'accès aux plateformes : ces risques ne sont ni totalement nouveaux, ni spécifiques du BIM. Ils relèvent de la responsabilité civile (contractuelle ou non contractuelle).
Un impact assurantiel nul	L'impact assurantiel est donc en général nul : l'assurance de responsabilité d'un constructeur a vocation à couvrir sa responsabilité dans l'exercice de son activité déclarée (maître d'œuvre, BET fluides, architecte, entreprise de gros œuvre, maçon, électricien, entreprises de VRD, etc...). Le recours au BIM est pour le constructeur une simple évolution dans sa méthode de travail qui va remplacer progressivement l'utilisation du papier pour y substituer des fichiers numériques. L'assurance d'une activité comprend tout ce que le constructeur entreprend dans le cadre de cette activité. L'utilisation du BIM entre dans ce cadre et ne peut pas être considérée, en tant qu'outil, comme une activité à déclarer.
Le BIM manager : un nouveau métier ?	La notion de BIM manager, son rôle et le contenu de ses missions sont un des sujets les plus sensibles, les plus discutés avec l'apparition du BIM. Pour nombres d'acteurs, le BIM manager n'est pas un nouveau métier mais uniquement le développement de compétences ad hoc de certaines professions (architecte, maître d'œuvre, contractant général, entreprise de gros œuvre, concepteur-réalisateur). L'idée sous-jacente pour ces acteurs est d'attribuer à un intervenant au marché la mission d'élaborer le processus BIM et de veiller à son application. Cependant, la pratique tend à démontrer que de nouveaux acteurs apparaissent en particulier des professionnels de la gestion de données. Toute la question se situe dès lors bien au niveau du contenu de la mission de BIM management et de ce qui est attendu de lui par le maître d'ouvrage.

5.4. Propriété intellectuelle et biens immatériels

Droits de la propriété intellectuelle (PI) et biens immatériels	Ce sujet est révélateur des aspects en général non traités (ou faiblement) dans la pratique traditionnelle des contrats de construction. Seul l'architecte se voit reconnaître des droits explicites sur l'ouvrage construit et les documents ou maquettes produits à cet effet. Les questions de PI ont été abordées sous trois de leurs aspects : le droit d'auteur, le brevet d'invention et le droit des bases de données.
--	--

A qui appartient la maquette numérique

Le numérique induit des évolutions au niveau de la propriété intellectuelle parce qu'il rend possible la réunion de données hétérogènes, créées par des contributeurs différents, sur un support unique. Cette capacité intégrative du numérique permet de créer un objet nouveau, la maquette numérique, susceptible de recevoir plusieurs qualifications juridiques et de faire l'objet de différents modes de protection. Qui est l'auteur ? Pour répondre à cette question, il a fallu tenter de déterminer dans quel type d'œuvre elle se situait : œuvre composite, collective, ou de collaboration ? A chacun de ces types correspond un régime juridique propre.

La gestion contractuelle des droits d'auteur est donc nécessaire pour une exploitation licite des plans par l'entreprise de construction. En conséquence, le maître d'ouvrage n'est pas fondé à se prévaloir de l'acquisition de la propriété des supports matériels (plans, maquettes, ouvrage bâti, équipements etc.) pour s'opposer à l'exercice des droits de l'auteur sur son œuvre.

On peut cependant souligner que beaucoup de ces questions se posent, ou devraient se poser, dans un processus traditionnel reposant sur l'échange de plans et documents.

Le BIM, une invention ?

Les droits européens et français ne protègent ni les œuvres de l'esprit, ni les logiciels, ni les bases de données par le biais d'un brevet d'invention.

Le BIM base de données ?

Oui, avec certitude. Pour répondre aux enjeux économiques représentés par la collecte, la numérisation et l'exploitation des données, le législateur européen a créé un droit indépendant pour protéger l'investissement du producteur d'une base de données : de manière générale, le producteur peut contrôler les conditions d'utilisation de la base de données qu'il a créée ou mise en œuvre.

Le maître d'ouvrage devra, dès les premiers temps du projet, préciser les usages des données et de la base de données, et mettre en place ou faire mettre en place les licences correspondantes.

6. OBSERVATOIRE MINnD

6.1. Description de l'avancée du BIM, indicateurs, évolution des compétences

L'observatoire MINnD	L'observatoire de l'évolution des pratiques et des connaissances autour de la maquette numérique a pour objectif d'étudier les méthodes et les outils permettant d'évaluer les démarches d'adoption du BIM, de mesurer ce qui a été fait et d'évaluer le chemin restant à parcourir, aussi bien intra-entreprise que dans la filière. Le groupe de travail observatoire a dans un premier temps (2014-2016) étudié les contours et les missions d'une structure « observatoire » pour la profession (livrable tranche 1), en procédant à un benchmark de différentes formes de structures d'observation et d'études. Lors de la seconde période (2016-2018), l'observatoire a produit trois livrables décrits ci-après.
Description globale de l'avancée du BIM	Une « cartographie » ou description globale de l'avancée du BIM, des outils et des méthodes, en fonction du type d'ouvrage ou de bâtiment, est proposée. Cet état des lieux est une première ébauche qui propose « un état des techniques, des méthodes et des pratiques » très concret, ouvrage par ouvrage.
Etat de l'art des indicateurs Publicly Available Specification BIM Maturity wedge Contributions académiques	L'observatoire MINnD propose un état de l'art des indicateurs, outils d'évaluation et d'aide à la décision permettant d'évaluer la démarche et la performance d'utilisation, de piloter et d'améliorer la mise en œuvre. Les recommandations de réglementations existantes, les résultats de travaux préparatoires de normalisation et les travaux de recherche académique sont utilisés. Le PAS 1192 (<i>Publicly Available Specification</i>) définit le niveau de maturité de Niveau 2 pour le BIM pour les appels d'offres publics britanniques. Quatre niveaux de maturité sont identifiés. Cet indicateur est assez sommaire et se focalise sur la technologie et son utilisation, et pas sur la modélisation. Le Technical Committees 442 du Comité Européen de Normalisation, en charge du BIM, définit la progression des niveaux de Maturité BIM (<i>BIM Maturity wedge</i>). Dans le schéma en forme de coin, produit par SYHUSBYGG (organisme norvégien), on retrouve l'axe horizontal du PAS et les Niveaux de Maturité : s'y ajoutent quatre indicateurs, et une évaluation possible pour chacun d'eux, ce qui permet d'avoir des niveaux de maturité différents selon les indicateurs. Enfin, sans aller jusqu'à un état de l'art, des contributions académiques ont été étudiées, notamment les apports majeurs du courant de recherche autour de Bilal Succar (Succar 2010 ; Succar et al, 2012).
Evolution des compétences	Un troisième livrable de l'observatoire pose la question de l'évolution des compétences dans les cas de rupture technologique, problème central dans l'adoption d'une démarche BIM, aussi bien pour chaque entreprise que pour toute la filière. Ce livrable est un préalable à une recherche approfondie avec des experts universitaires. Il propose plusieurs constats menant à la réflexion collective : • La rupture technologique exige des compétences nouvelles et ceci de façon urgente à partir du moment où le besoin est identifié.

- Ces compétences nouvelles n'existent nulle part (en tout cas en quantité suffisante), il faut donc les inventer.
- Les opérationnels, dans les entreprises, sont sur le front de la création de ces compétences nouvelles, ils sont très sollicités, y compris comme interlocuteurs pour les éditeurs de logiciels ou les formateurs.
- Les formateurs sont eux-mêmes assez démunis et ne peuvent pas être co-générateurs de ces compétences nouvelles, sauf s'ils sont engagés dans des projets de recherche.
- Les opérationnels ont donc un rôle central dans la traduction d'une rupture technologique dans leur filière, il faut partir de leur expertise pour traiter des compétences.

6.2. Séminaires MINnD campus

Séminaires MINnD campus

Des séminaires « MINnD campus » sur des thèmes en lien le BIM ont été organisés tout au long du projet, en élargissant le propos pour contribuer à une culture large sur les thèmes du numérique et sur les questions, pas forcément strictement numériques, qu'il pose. Ils ont bénéficié des apports d'universitaires, et de spécialistes de domaines industriels variés ou d'autres secteurs. Ils ont été des lieux de réflexion, d'interaction et d'échanges à partir de conférences d'experts :

- Soit sur un thème précis du BIM,
- Soit sur un sujet plus large nourri de travaux universitaires
- Soit sur un sujet connexe de manière à se confronter à un retour d'expérience d'un secteur d'activité autre que celui de la construction.

Ces séminaires, ouverts à toute la communauté du BIM (donc y compris hors MINnD), ont été générateurs d'idées et ont permis d'alimenter la réflexion au sein du projet.

21 séminaires

Pendant 4 ans, 21 séances de séminaire ont eu lieu, réunissant à chaque fois entre 25 et 40 personnes pour un débat d'une heure suivant une heure de conférence introductive. Parmi les sujets traités, citons :

N°	Intitulé du séminaire	Conférenciers
1	Systèmes d'information et conception	Lionel Roucoules (ENSAM) et Christophe Castaing (Egis)
2	Droit et maquette numérique	Danièle Boursier (CERSA) et Christophe Merienne (Egis)
4	La conception collaborative	Flore Barcellini (CNAM)
5	Construire des ontologies : l'exemple de la médecine et les bons principes qui en découlent	Jean Charlet (AP-HP et Inserm)
8	BoostAeroSpace / hub aéronautique européen	Pierre Faure (AFNET)
9	Préservation numérique et transmission des connaissances dans le temps : enjeux et approches	Bruno Bachimont (INA, UTC compiègne)
10	La question des niveaux pour la modélisation : entre détail, développement et abstraction	Charles-Edouard TOLMER (EGIS)
15	Le design thinking, fondamentaux de la méthode et expérience d'un industriel : Thalès	Didier Boulet, Design Center Director Thales Université

Un descriptif de chaque séminaire est disponible sur le site internet du projet : <https://www.minnd.fr/seminaires/>

7. TRANSFERT ET VALORISATION

7.1. EduBIM

Enseignement du BIM

L'introduction du BIM dans l'enseignement modifie l'enseignement des différentes disciplines du génie civil, du génie urbain et de l'architecture. Ces nouveaux processus nécessitent un apprentissage des étudiants qui incorpore l'usage des nouvelles technologies même si les principes fondamentaux de la physique et de la construction ne sont pas modifiés.

MINND a donc pris l'initiative de lancer les rencontres d'enseignants EduBIM et continue à y contribuer. Cette communauté de recherche, pour réussir, doit être organisée sur des critères académiques et, de ce fait, a maintenant pris son indépendance vis-à-vis de MINND.

Un lieu de rencontre et d'échanges

Le réseau EduBIM est un lieu de rencontres et d'échanges dédié à l'enseignement de la maquette numérique et du BIM, entre différents acteurs :

- Les enseignants du secteur de la construction : dans les écoles d'ingénieurs, d'architectes, les universités ou le secondaire
- Les professionnels : entreprises de travaux, sociétés d'ingénierie, maîtres d'ouvrages, industriels, éditeurs de logiciels BIM

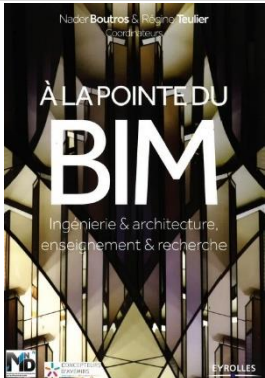
Quatre rencontres EduBIM ont été organisées. L'édition 2019 est programmée les 15 et 16 mai 2019 à ENS Cachan.

	Date	Lieu
EduBIM 2015	16 et 17 juin 2015	ESITC Caen
EduBIM 2016	16 et 17 juin 2016	ESTP Cachan
EduBIM 2017	5 au 7 juillet 2017	CESI Nanterre
EduBIM 2018	15 et 16 mai 2018	Polytech Université Clermont-Ferrand
EduBIM 2019	15 et 16 mai 2019	ENS Cachan, Univ Paris-Saclay

Les comptes-rendus et supports de présentations, sont disponibles sur le site internet du projet : <https://www.minnd.fr/edubim/>

Workshop de recherche

EduBIM a montré sa capacité d'organisation et continue à être la référence en matière de rencontres des enseignants du BIM et a été capable de lancer après 2 ans d'existence, un workshop de recherche avec sélection des papiers par les pairs, auquel les partenaires industriels de MINND ont largement contribué en proposant des articles. Ces Workshops ont donné lieu à la publication de deux ouvrages :

Workshop EduBIM 2017 Le BIM éclairé par la recherche	Workshop EduBIM 2018 À la pointe du BIM
	

7.2. Actions de valorisation

Valorisation

Le travail de valorisation a consisté en :

- L'organisation de séminaires « MINnD campus » ouverts à toute la communauté concernée et intéressée par le BIM
- L'organisation d'assemblées générales annuelles ouvertes
- La présentation du programme et/ou de ses avancées dans des conférences nationales et internationales
- La présentation des avancées du projet dans des revues spécialisées. A titre d'exemple, citons la revue « Travaux » (revue technique des entreprises de travaux publics) n°917 (spécial BIM) et n°934 (spécial BIM 2)
- La construction et la maintenance d'un site internet (www.minnd.fr) contenant en particulier un volet actualités
- La mise à disposition des livrables MINnD, voir § 7.3
- La valorisation académique à travers les deux ouvrages chez Eyrolles pré-cités et à travers un numéro spécial de la revue Internationale IJ3DIM (groupe IGI)



7.3. Livrables

Livrables MINnD

Très tôt dans le projet, les partenaires ont pris la décision d'ouvrir gratuitement et librement l'accès à leurs résultats, afin de favoriser l'engagement du plus grand nombre dans le processus d'adoption du BIM et contribuer à une dynamique homogène de filière.

Les livrables du projet sont disponibles sur le site internet www.minnd.fr/publications/livrables.

8. BILAN ET PERSPECTIVES

Bilan	
Un projet reconnu	Après 4 années de recherche, le projet national MINnD est reconnu comme un projet structurant, garant d'une vision public/privé partagée, à la fois aux niveaux national et international. Cette reconnaissance s'appuie non seulement sur la qualité de ses productions, mais également sur ses relations étroites avec buildingSMART, avec l'OGC (<i>Open Géospatial Consortium</i>) et le CNIG (Conseil National de l'Information Géographique), avec les organismes de certification (ISO/CEN/AFNOR), avec les universités et les écoles d'ingénieurs, mais aussi avec d'autres initiatives de grande actualité comme BoostConstruction initiée par les résultats de l'AFNET dans les secteurs de l'aéronautique ou de l'automobile.
Des objectifs atteints	MINnD a répondu à la plupart de ses objectifs initiaux et a levé les verrous associés. En particulier, l'objectif de faire monter en compétence l'ensemble du secteur de la construction français en termes de BIM a été largement atteint. Le nombre des partenaires adhérents et participants activement aux groupes de travail, et la poursuite des adhésions tout au long du projet, sont représentatifs du dynamisme engendré par cet élan.
Des ajustements nécessaires	Le programme de recherche initial, très ambitieux, a dû être ajusté pour répondre à l'évolution des enjeux et focaliser ses ressources sur les sujets stratégiques. Certaines actions ont été remplacées par de nouvelles.
Perspectives	
Les sujets stratégiques restant à traiter	Les réflexions menées en 2018 dans un groupe de travail dédié ont permis d'identifier des sujets stratégiques qui n'ont pas encore été traités dans le cadre du PN MINnD – ou partiellement – et qui semblent nécessaires au développement du BIM pour les infrastructures. Citons à titre d'exemple : • La modélisation de l'existant • La gestion du patrimoine et des actifs • Les modalités de réception en BIM • La gestion des incertitudes et des tolérances • La poursuite du développement des IFC infra
Le contexte international	Les travaux liés à l'interopérabilité et à la normalisation des informations sont par essence collaboratifs et internationaux. Le projet national MINnD, à travers la qualité des livrables qu'il produit, a montré qu'il offre un cadre de recherche collaborative pertinent pour progresser sur ces sujets. Il est reconnu comme un contributeur important dans les instances internationales. Cette reconnaissance, et la poursuite de ces travaux, exigent de conserver une certaine stabilité et de s'adapter à un calendrier international.
Ne pas rompre la dynamique	Le nombre de partenaires de MINnD n'a cessé d'augmenter depuis le démarrage du projet, le sujet « openBIM collaboratif » étant devenu un enjeu majeur. Le panel des partenaires est actuellement très représentatif de toutes les sensibilités du métier.
Le montage du projet MINnD saison 2	Dans ce contexte, bien que la communauté doive se préparer à un « après MINnD » (un projet de recherche n'a pas vocation à devenir une structure pérenne), l'extension du projet au-delà de 2018 s'avère pertinente. MINnD a donc créé un groupe de travail pour bâtir un programme de recherche 2019-2021 complémentaire qui sera soumis :

- A une évaluation par le comité d'orientation du réseau RAGC (Recherche appliquée en génie civil)
- A l'avis de l'assemblée générale de MINnD

Sous réserve d'une validation collective et consensuelle, le projet MINnD Saison 2 pourrait démarrer début 2019.

