

Livrable

Approche holistique des infrastructures Cadre de référence - Partie I

Auteurs/Organismes

Christophe CASTAING (Egis)
Pierre BENNING (Bouygues Travaux Publics)
Vincent COUSIN (Processus & Innovation)
R. DEFRANCE (Eurostep)

F. MALAVERGNE (FMC)
F. ROBIDA (BRGM)
Charles-Edouard TOLMER (Eurovia)
Nicolas ZIV (Bouygues Travaux Publics)

Structuration des données (Thème 3) Approche holistique (UCI)

MINnD_TH03_UC01-01_Approche_holistique_PartieI_013A_2019
Avril 2019

Sommaire

1. GLOSSAIRE.....	2
2. RÉSUMÉ.....	4
3. ABSTRACT	5
4. PRÉAMBULE	6
5. PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE.....	7
5.1. La question initiale : l'heuristique	7
5.2. Définition des usages BIM par buildingSMART	8
6. APPLICATION DE L'INGÉNIERIE SYSTÈME ET DE LA GESTION DES EXIGENCES.....	15
6.1. Présentation générale.....	15
6.2. Ingénierie système	15
6.3. Gestion des exigences.....	19
7. TRAVAUX ET RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE TRAVAIL	20
8. PROPOSITION DE TRAVAIL POUR LA TRANCHE 2.....	28
9. CONCLUSION	29
10. TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	30

I. GLOSSAIRE

Terme	Définition
Acteur	Un acteur est une personne physique ou un système distant qui interagit avec le système étudié pour atteindre un but précis (Badreau & Boulanger, 2014).
BEP (BIM Execution Plan)	Le BEP est le plan qui définit tous les aspects de la modélisation du contrat et comment elles sont mises en place par l'équipe projet (ISO 19650).
Besoin	Un besoin est : <ul style="list-style-type: none"> • Une nécessité ou un désir exprimé pour un utilisateur ou par toute partie prenante intéressée par l'utilisation et l'exploitation du système (Fiorèse & Meinadier, 2012). Une nécessité, un désir, un manque ou une insatisfaction éprouvé par un utilisateur (Badreau & Boulanger, 2014).
Environnement	L'environnement est défini comme étant l'ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines. Il est aussi considéré comme étant l'ensemble des éléments, naturels ou artificiels qui entourent un système défini, que ce soit : <ul style="list-style-type: none"> • Un individu. • Une espèce. • Une entité spatiale. • Un site de production. Etc. (David Salze [Mines Alès]).
Exigence	Une exigence est un énoncé qui traduit un besoin ou des contraintes (techniques, coût, délais, etc.). Cet énoncé est rédigé dans un langage qui peut être naturel, mathématique, etc. (définition AFIS).
Heuristique	Une heuristique est un raisonnement formalisé (approche pragmatique) de résolution de problème (représentable par une computation connue) dont on tient pour plausible, mais non pour certain. Cette heuristique conduit à la détermination d'une solution satisfaisante du problème (Jean-Louis Le Moigne, la modélisation des systèmes complexes [Éd. DUNOT, 1991]).
Infrastructure	Une infrastructure est l'ensemble des installations réalisées au sol ou en souterrain permettant l'exercice des activités humaines à travers l'espace (Choay et Merlin, Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, 2010).
Ingénierie des exigences	L'ingénierie des exigences consiste, au travers de méthodes, règles et processus, à établir et maintenir un référentiel unique. Ce référentiel : <ul style="list-style-type: none"> • S'affine et se complète au cours du développement. Est maintenu tout au long de la vie du système (AFIS).
Ingénierie système	L'ingénierie système (ou ingénierie des systèmes) est une démarche méthodologique générale. Elle englobe l'ensemble des activités adéquates pour concevoir, faire évoluer et vérifier un système. Ce système apporte une solution économique et performante aux besoins d'un client, tout en satisfaisant l'ensemble des parties prenantes (AFIS).
Partie prenante	Une partie prenante est une personne physique ou morale qui a une influence ou un intérêt direct ou indirect dans un projet. Cette définition convient au terme d'acteur plus couramment utilisé dans notre industrie de la construction (Badreau & Boulanger, 2014).

Terme	Définition
Projet	<p>Un projet est un processus unique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regroupant un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin. • Entrepris dans un but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques telles que les contraintes de délais, de coût et de ressources (NF ISO 10006, 1998). <p>Le terme projet désigne le processus de développement d'un système et plus spécifiquement ici d'une infrastructure. Un projet est également considéré par l'ingénierie système comme un système (Fiorèse & Meinadier, 2012).</p>
Système	<p>Un système est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Constitué d'un ensemble d'éléments dont la synergie est organisée pour répondre à une finalité dans un environnement donné (Fiorèse & Meinadier, 2012). • Un ensemble de composants matériels, logiciels et humains qui coopèrent d'une manière organisée dans le but d'atteindre un objectif commun (Badreau & Boulanger, 2014).
Système complexe	<p>Par système complexe, on entend un système :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fait d'un grand nombre d'éléments qui interagissent de façon non linéaire. <p>Dans lequel les relations de cause à effet ne sont pas toujours établies scientifiquement et nécessitent une part d'intuitif (e.g. évolution des besoins, des contextes ou des réglementations, occurrence d'un phénomène perturbateur, etc.) (Simon, 1991).</p>
Système de systèmes	<p>Un système de systèmes résulte du fonctionnement collaboratif de systèmes constituants qui peuvent fonctionner de façon autonome pour remplir leur propre mission opérationnelle (AFIS).</p>
Usage BIM (BIM Uses)	<p>Un usage BIM est une méthode ou stratégie de mise en œuvre du BIM sur le cycle de vie d'un ouvrage ou d'un équipement pour répondre à un ou plusieurs objectifs (PennState).</p>

2. RÉSUMÉ

Le projet d'infrastructure, un projet complexe...

Un projet d'infrastructure répond parfaitement à la définition d'un système complexe, notamment au travers des éléments suivants :

- Le nombre de **parties prenantes** qui le compose.
- La grande **diversité des disciplines** et des compétences qu'il faut mobiliser.
- Son **environnement normatif et réglementaire**.
- Le nombre **d'exigences et de contraintes** auxquelles les infrastructures doivent répondre. Cela induit un grand nombre de simulations et de tests à réaliser pour les vérifier et les valider.

... qui génère un grand nombre d'informations...

Un grand nombre d'informations est généré tout au long du processus :

- De planification (programmation).
- De conception.
- De construction.
- D'exploitation.
- voire de démantèlement.

Ces importants flux d'informations doivent être collectés, traités, archivés, soigneusement structurés et tracés de manière cohérente et intelligible pour l'ensemble des parties prenantes et notamment :

- Le maître d'ouvrage.
- Les futurs utilisateurs.

... à partir desquelles les acteurs de la construction doivent se positionner

Voilà le cadre général dans lequel les acteurs de la construction doivent se positionner afin :

- De modéliser les informations relatives au développement des infrastructures.
- De mettre en place une démarche BIM pour les infrastructures.

Objectif du présent livrable

L'objectif du présent livrable est de proposer les grandes lignes d'un cadre de référence pour le développement du BIM dans les infrastructures.

3. ABSTRACT

The infrastructure project, a complex project...

Building large or capital-intensive civil infrastructure is a complex task:

- In terms of the infrastructure to be built and operated per se.
- In terms of the process to build it combining human and material resources and knowledge.

An infrastructure project matches perfectly the definition of a complex project delivered by the system engineering. The complexity is the direct result of the large number of interfaces such as:

- The fact that, unlike most of the industrial projects, infrastructure projects are built:
 - To be physically if not mechanically integrated into a physical and living environment (the biosphere whether anthropic or natural) singular to a particular location.
 - To be operated for very long periods of time where the unit of scale is more the decades or the centuries than the years).
- The number of **stakeholders and actors involved**.
- The **large diversity of disciplines and skills** that must be mobilised.
- The **regulatory environment**.
- The **growing number of requirements** that:
 - Must be fulfilled (or compromised in case they are conflicting).
 - Requires extensive simulations of the proposed solutions before being all verified and validated against all stakeholders and actors' needs.

... generating a huge amount of information...

Huge amount of information is generated during:

- The design phase.
- The renovation phase.
- The build phase.
- The recycle phase.
- The operation phase.

This information must be collected, treated, archived, carefully structured and traced in a meaningful manner – intelligible for all stakeholders and actors, among which most importantly the final clients and customers.

... that sets the business environment

The generated information sets the business environment in which one has to engineer:

- The building information model in its most general manner.
- The BIM process for infrastructure.

Purpose of this deliverable

The ambition of this deliverable is to **propose the outline of a possible reference framework**.

4. PRÉAMBULE

Objectifs de l'approche holistique d'une infrastructure

L'approche holistique d'une infrastructure est une question stratégique d'actualité. Elle doit permettre de favoriser et de mieux définir :

- L'évolution des standards et de la normalisation.
- Les besoins du secteur de la construction, en s'appuyant sur les expériences et les progrès de l'industrie.
- Le besoin de se réappropriier les différentes cultures, notamment dans le domaine ferroviaire qui est à la croisée des secteurs :
 - Du bâtiment (gestion des actifs bâtis).
 - De l'infrastructure (gestion des voies).
 - De l'industrie (matériels roulants).
- La maîtrise des systèmes complexes qui composent toute infrastructure linéaire.

Livrables du thème 3

Le thème 3 du projet de recherche MINnD est composé de deux parties :

Partie 1	Le présent document (partie 1) a été élaboré lors de la première tranche. Il a pour objectif de répondre à la question : comment définir les usages BIM pour les infrastructures ?
Partie 2	Une deuxième partie est élaborée au cours de la seconde tranche de MINnD. Elle concerne les méthodes et les outils à mettre en place qui permettent de répondre à la problématique posée. Elle fait l'objet d'un second livrable (partie 2) : l'application de l'ingénierie système aux infrastructures pour la définition des usages BIM.

5. PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE

5.1. La question initiale : l'heuristique

Développement du concept d'usage BIM

Le concept « d'usages BIM » s'est développé afin :

- De définir les objectifs de l'utilisation du BIM.
- De décrire les processus à mettre en place pour remplir ces objectifs.

Mediaconstruct -buildingSMART France) donne la définition suivante du concept d'usage BIM :

Définition d'un usage BIM selon Mediaconstruct

« Un usage BIM (usages BIM) est une explicitation de processus intégrant des pratiques BIM, c'est-à-dire la description d'un processus concret, tel qu'il est mis en œuvre sur un projet. Cela permet de décrire de manière factuelle les usages voulus des maquettes numériques, les interactions des différents acteurs avec cette base de données, pour des actions métiers précises allant de la production d'images jusqu'à l'exploitation de bâtiment. »

Une prise en compte insuffisante des activités de développement d'une infrastructure...

Les usages BIM proposés par buildingSMART sont initialement dédiés au bâtiment. Ils ne suffisent pas pour aborder l'ensemble des activités de développement d'une infrastructure.

... qui comportent des degrés supplémentaires de complexité...

La raison de ce manque provient essentiellement de la non-prise en compte d'au moins trois degrés supplémentaires de complexité en cohérence avec la définition de Choay et Merlin décrivant les infrastructures :

- **L'agrégation d'ouvrages.**
- **L'interaction de systèmes, internes et externes aux ouvrages.**
- **Le nombre d'interfaces et de parties prenantes.**

Ces aspects ne sont pas suffisamment pris en compte par les usages BIM et les pratiques de modélisation actuelles proposés dans les guides actuels orientés pour le bâtiment.

... à identifier et compléter...

Afin de traiter l'ensemble des problématiques rencontrées pour le développement des infrastructures, il est nécessaire de :

- Définir de nouveaux aspects.
- Compléter ceux déjà existants.

... à l'aide d'une méthode définie dans la deuxième partie du livrable

Au-delà de la définition de nouveaux usages BIM spécifiques aux infrastructures, il est déjà indispensable :

- De définir la méthode permettant de les identifier.
- De reprendre la modélisation du processus de conception avec une approche holistique pour considérer les ouvrages dans leurs contextes.

La deuxième partie du livrable doit ainsi comprendre les éléments décrits ci-après.

Contenu de la deuxième partie du livrable

Recommandation d'une approche holistique des projets d'infrastructures.
Retranscription en français des « usages BIM1 » de BuildingSMART et définition du périmètre de chaque cas d'usage pour ceux applicables aux infrastructures.
Méthode d'identification et de description des usages BIM.
Ajout d'usages BIM applicables aux infrastructures.
Spécifications : <ul style="list-style-type: none"> • Des fonctions ou systèmes pris en compte dans chaque cas d'usage. • Des objets [qui les composent] (géométrie et attributs).
Interfaces/impacts entre les systèmes (liens entre systèmes et objets).
Paramétrage d'outils existants (tel que IDM [Information Delivery Manual V2.0]).
Approche de MCD objet et structuration d'entreprise.

5.2. Définition des usages BIM par buildingSMART

Usages BIM développés dans le bâtiment

Des cas d'usages du bâtiment...

L'association buildingSMART a répertorié **40 cas d'usages** (usages BIM) :

- Représentatifs du secteur du bâtiment.
- Organisés par phases.
- Dont l'agencement schématique nous paraît intéressant, même si les cas d'usage métiers et les cas d'usage BIM semblent mélangés.

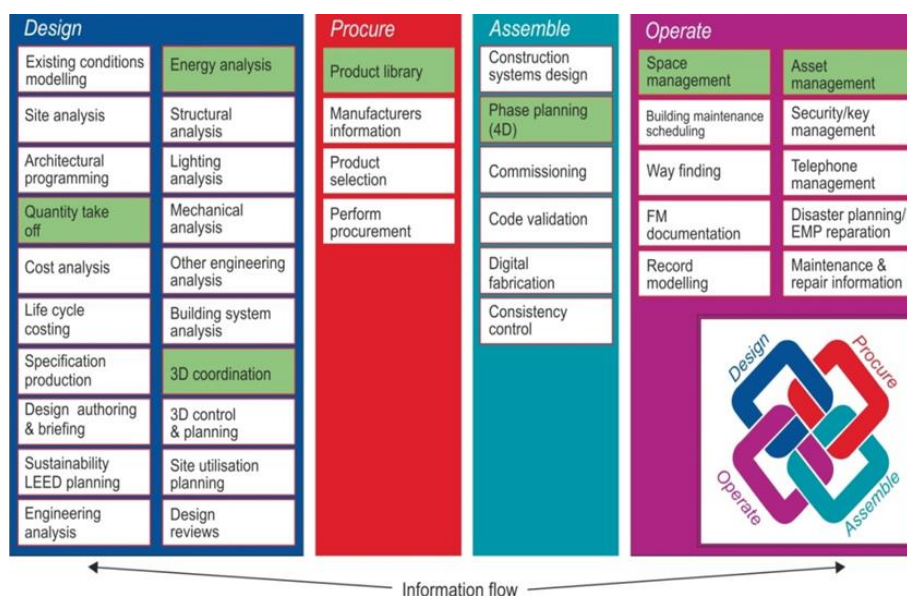


Figure 1 : usages BIM développés par buildingSMART dans le bâtiment

¹ Dans les documents de BuildingSMART, il est indifféremment écrit « BIM use » et « BIM use case ». Dans le présent document, nous utilisons uniquement la terminologie « Usages BIM », traduction de « BIM use » en français.

... qui font l'objet d'une description...

Chaque usage BIM fait l'objet d'une description. Cette description s'appuie sur :

Une cartographie des échanges	Process map: les process map des usages BIM présentés ci-dessus pour le bâtiment sont disponibles dans le Project Execution Planning Guide de Penn University (Université de Pennsylvanie).
La définition des données à échanger	Information Delivery Manual – IDM.

... qui s'étendent au secteur des infrastructures...

Cette approche permet de décrire le domaine de définition que le BIM couvre ou doit couvrir :

- Pour un projet de bâtiment.
- Lors de l'élaboration d'un guide de mise en œuvre du BIM (BIM Execution Plan).

Nous pensons qu'il est profitable d'étendre cette description structurée au secteur des infrastructures.

En reprenant cette approche originelle, nous positionnons d'emblée le travail de MINnD dans un environnement international, en continuité avec les bonnes pratiques mises en œuvre dans le bâtiment.

... mais qui ne suffisent pas...

Comme nous l'avons déjà mentionné, les usages BIM proposés par buildingSMART ne sont pas suffisants pour répondre à l'ensemble :

- Des problématiques liées aux infrastructures.
- Des possibilités offertes par l'utilisation des nouveaux outils numériques.

Exemples

La problématique de l'acquisition foncière, que nous aurait apportée une approche holistique, n'est pas mentionnée dans ces usages BIM alors même :

- Qu'il s'agit d'une étape essentielle pour un projet d'infrastructure.
- Que les outils numériques pourraient apporter beaucoup pour l'anticipation de ces questions.

Plusieurs autres sujets pourraient être abordés à différents stades de développement, par exemple :

- La signalisation.
- Le prélèvement des redevances.
- La logistique.
- La gestion du trafic.
- Bien d'autres problématiques.

Plusieurs remarques émergent concernant la définition des usages BIM par buildingSMART :

- Comment le découpage en phase est-il justifié ? Pour les projets d'infrastructure, il manque la phase de planification (appelée « programmation » dans le domaine du bâtiment).
- Comment et pourquoi ces usages BIM ont-ils été choisis ? Est-on sûrs qu'ils couvrent l'ensemble des problématiques ?
- Il semble manquer beaucoup d'usages BIM. Voici quelques exemples qui pourraient être intégrés :

- Acquisitions foncières.	- Fondation	- Infrastructures
- Études de signalisation.	- s.	- linéaires.
- Logistique.	- Exploitation.	- Etc.

... et doivent être complétées par une vision holistique globale

Sans la logique de définition des usages BIM, cette répartition semble peu pertinente et insuffisante. En effet, les informations qui doivent être modélisées et renseignées :

- Ne sont pas les mêmes pour chaque objet/produit.
- Dépendent dans chaque cas du niveau de complexité à étudier.

Cette description de buildingSMART n'est donc pas satisfaisante. Il est nécessaire d'avoir une vision holistique, globale. Cette vision nous **permet de définir les usages BIM pertinents au bon moment dans le cycle de développement du système.**

Dans d'autres industries, des méthodes d'ingénierie système sont utilisées pour modéliser les systèmes et les informations à échanger. Nous revenons dans le présent document sur l'intérêt d'utiliser ces méthodes dans le cadre des projets d'infrastructure.

Ces usages BIM génériques font l'objet d'une description pratique lors de la mise au point du protocole BIM (BIM Execution Plan) au démarrage de chaque projet.

Usages BIM développés dans les infrastructures

Infrastructures et bâtiment : liens et différences

▼ Des usages BIM relatifs aux bâtiments repris pour les infrastructures...

Le groupe de travail InfraRoom de buildingSMART a défini des usages BIM prioritaires relatifs aux infrastructures :

- Dans le cadre de la « Roadmap 2016 » proposée par BuildingSMART International au gouvernement britannique.
- En réutilisant les usages BIM représentatifs définis pour le bâtiment, repris par exemple dans le Pennstate.

Ce travail s'inscrit maintenant autour des extensions des IFC à l'infrastructure dans l'InfraRoom de bSI en collaboration avec l'OGC, autour de LandInfraGML.

▼ ... mais qui ne doit pas être dupliqué pour autant...

Les développements autour de l'extension des IFC, menés en commun par bSI et l'OGC soulignent la difficulté à définir des usages BIM spécifiques englobant toute la problématique d'un projet d'infrastructure à partir des usages BIM du bâtiment. Les travaux initiés par le projet de recherche ANR COMMUNIC2 montrent qu'il ne faut pas pour autant dupliquer mécaniquement cette démarche.

▼ ... en raison de différences entre ces deux secteurs...

Les bâtiments et les infrastructures sont des ouvrages à la fois différents, mais imbriqués. Rajouter des usages BIM spécifiques aux infrastructures ou décliner ceux du bâtiment nous amène à définir très clairement les différences et les similitudes entre ces deux domaines de la construction.

Le tableau ci-après différencie :

- La démarche de description des bâtiments.
- La démarche qui devrait être utilisée pour définir un projet d'infrastructure.

² Le projet ANR COMMUNIC avait pour objectif d'étudier les différentes étapes d'un projet en cherchant à favoriser le travail collaboratif entre les acteurs directs d'un projet d'infrastructure (gestionnaire de patrimoine, concepteurs, constructeurs, exploitants, financeurs, etc.), à évaluer les performances et les impacts environnementaux, économiques et sociétaux et à promouvoir la communication avec les acteurs influents tels les élus, l'administration ou les riverains.

Élément différenciateur	Description
Activités à réaliser dans l'espace à aménager	<p>L'objet des ouvrages issus de la construction est d'aménager l'espace pour y réaliser des activités. Selon les activités à réaliser, on peut raccrocher la typologie de l'ouvrage aux bâtiments ou aux infrastructures. Par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'activité de se déplacer dans l'espace (routes, métros, tramways, etc.) concerne les infrastructures. • Les activités comme habiter ou travailler impliquent la construction d'ouvrages de type bâtiment.
Impact sur l'environnement	<p>Une infrastructure implique souvent de nombreux éléments de l'environnement (en particulier pour les infrastructures linéaires), contrairement aux bâtiments dont l'impact spatial en surface est plus limité.</p> <p>Ces nombreux éléments de l'environnement en interface avec l'ouvrage à concevoir ajoutent une couche de complexité supplémentaire qui existe moins dans le cadre du bâtiment.</p> <p>Contrairement au bâtiment où (à ce jour) uniquement l'ouvrage bâti est modélisé, le nombre et l'importance des interactions avec l'environnement dans le cas d'une infrastructure rendent indispensables :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une modélisation. • La définition de nouveaux usages BIM. <p>Ce raisonnement sur l'analyse du besoin auquel répond l'ouvrage à produire et sur les interactions avec les milieux extérieurs est une étape essentielle de la démarche d'ingénierie système. Cette démarche est abordée dans la suite du document et plus en détail dans la tranche 2 où ces méthodes sont développées.</p>

▼ ... qui impliquent des exigences et usages BIM différents

Quelle que soit la typologie de l'ouvrage considéré (bâtiment ou infrastructure), le croisement entre des besoins différents et des impacts spatiaux différents engendre nécessairement :

- Des exigences à vérifier différentes.
- Des usages BIM différents.

Il est donc normal que les usages BIM proposés par buildingSMART pour le bâtiment ne répondent pas de manière satisfaisante aux besoins de modélisation pour les infrastructures.

Proposition d'usages BIM pour les infrastructures

Une reprise des usages BIM proposés par buildingSMART...

Ci-dessous, nous avons pris l'exemple de la déclinaison des usages BIM proposés par buildingSMART aux cas :

- Des routes.
- Des ponts.
- Des tunnels.

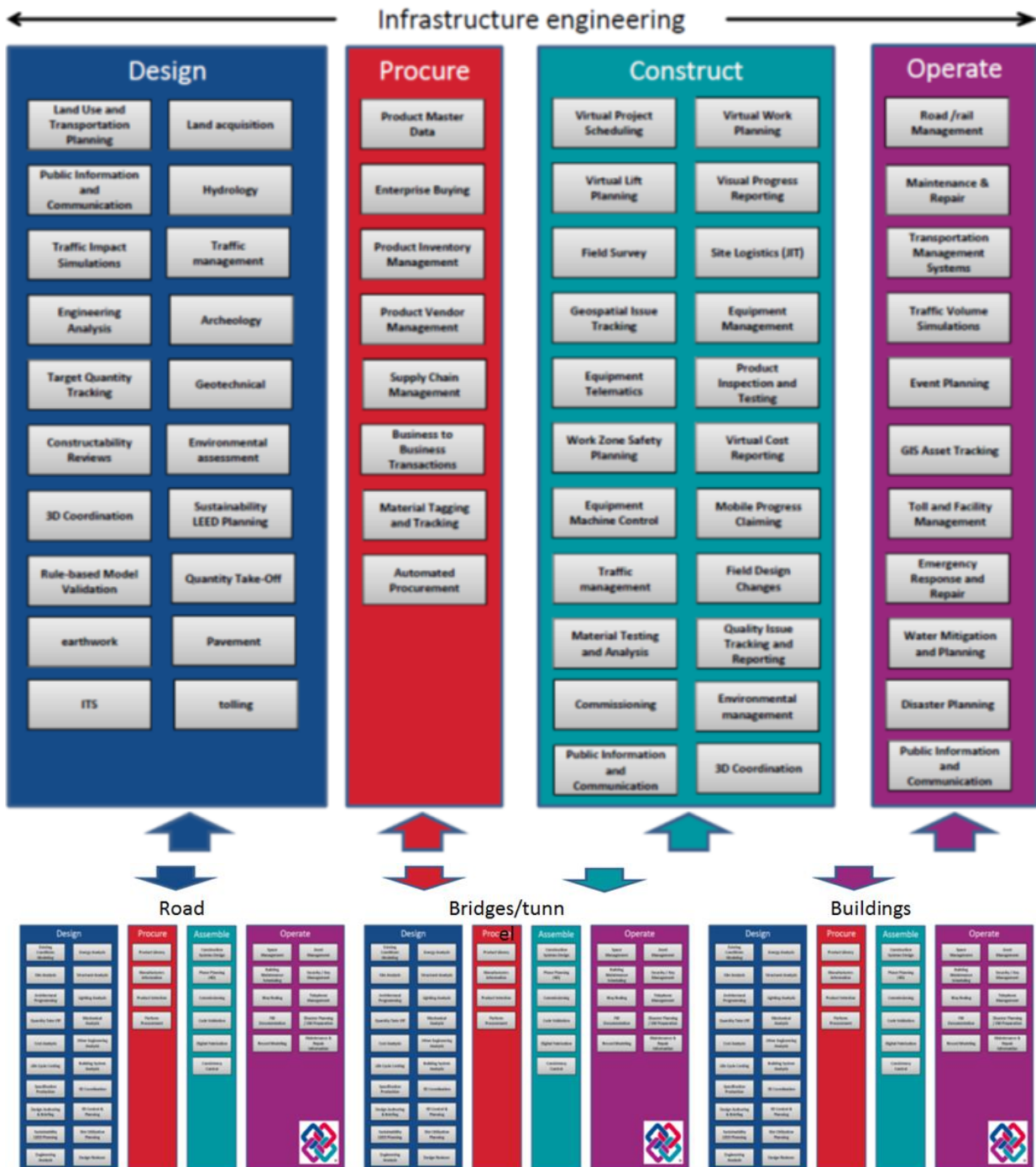


Figure 2 : usages BIM pour les infrastructures

*Proposition d'usages BIM
pour les infrastructures*

▼ **... en prenant en compte les interactions des infrastructures avec les systèmes de l'environnement...**

Ci-dessus, nous avons pris l'exemple de la déclinaison des usages BIM proposés par buildingSMART comme si une infrastructure n'était que la simple juxtaposition d'ouvrages. Cependant, il existe des systèmes transverses multi-localisés, parfois même virtuels. Tous ces systèmes sont en interaction avec des systèmes de l'environnement qu'il faut prendre en compte. C'est donc toute l'architecture de la représentation qu'il faut reprendre.

Un premier niveau, supplémentaire consiste à identifier et à définir ces interactions.

Exemples d'identification et de définition...

... de l'impact des infrastructures sur leur environnement

Les interactions entre une infrastructure routière et un bassin versant sont un usage BIM supplémentaire par rapport au bâtiment.

Cet usage BIM doit être modélisé, car les interactions entre une infrastructure et un bassin versant sont complexes et ne peuvent être appréhendées simplement.

Ainsi, ce cas d'usage supplémentaire :

- Provient d'une obligation à intégrer des impacts spatiaux plus importants par rapport à un projet de bâtiment.
- Entraîne l'identification d'un nouvel acteur extérieur impactant l'ouvrage : le bassin versant.

... des activités qu'une infrastructure doit permettre dans l'espace

Un autre exemple d'usage BIM qui serait particulier aux infrastructures est un usage « étude de trafic » pour une infrastructure de transport, routière ou ferroviaire.

La raison de ce cas d'usage supplémentaire provient de l'activité à réaliser dans l'espace : permettre à des matériels roulants (voitures, métros, tramways, etc.) de se déplacer d'un point A à un point B.

Nous venons de voir que de nouveaux usages BIM propres aux infrastructures peuvent être proposés. Ces nouveaux usages BIM sont liés à :

- L'impact différent des infrastructures sur leur environnement.
- Des différences sur les activités qu'une infrastructure doit permettre dans l'espace.

▼ **... ainsi que la phase de planification...**

La phase de planification (ou de programmation) n'est pas mentionnée dans le phasage proposé par buildingSMART pour le bâtiment. Pourtant, il s'agit d'une étape importante d'un projet de construction où le BIM peut également avoir son domaine de pertinence.

▼ **... et les usages BIM valables sur l'ensemble du cycle de vie**

Les usages BIM valables sur l'ensemble du cycle de vie ne sont pas non plus identifiés (management des contrats par exemple).

De plus, le cas d'usage « acquisition foncière » (Land acquisition) n'est pas propre à un ouvrage particulier de l'infrastructure. En effet, il s'agit d'une problématique propre à l'infrastructure dans sa globalité.

Détermination du périmètre d'un usage BIM

Il peut parfois être compliqué de déterminer le périmètre précis d'un usage BIM. La problématique de la chaussée, ou le cas d'usage « chaussée », doit-il être attaché à l'ouvrage route ? Ou doit-on attacher le cas d'usage « chaussée » à chaque ouvrage traversé par la chaussée ? Le groupe de travail « Chaussée » de MINnD (UC2) a eu plutôt tendance à travailler selon la première option, en considérant la chaussée comme un système en tant que tel.

Inapplicabilité de la notion de niveau de développement

On répond traditionnellement de la même manière pour ce qui concerne le système de péage, qui se définit en tant que tel, mais aussi par une série d'ouvrages faisant partie (entre autres) de ce système.

À noter que cette réflexion a été initiatrice de la réflexion sur l'inapplicabilité de la simple notion de niveau de développement (Level of Development - LOD) dans un projet d'infrastructure. Cela s'explique par l'interaction des systèmes entre eux.

Inscription du projet MINnD dans une démarche « Usages BIM »

Le projet MINnD propose de s'inscrire dans cette démarche « Usages BIM ». Cette proposition offre un cadre international commun de réflexion sur le « périmètre » à couvrir. Elle est validée ou modifiée par :

- Le cadre spécifique dans lequel se développent les contrats français (loi MOP).
- L'expérience acquise avec COMMUNIC.

Grille « Infra Use Cases »

L'appropriation et la définition d'une grille « Infra Use Cases », **comme une des premières tâches du projet MINnD**, permettent d'annoncer clairement :

- Les objectifs.
- Les enjeux.
- Le reste à faire.

Cela va bien au-delà de la problématique de la représentation 3D.

Expertise et validation de l'approche

L'approche « Usages BIM » est expertisée et validée par les partenaires identifiés du projet. Ces partenaires sont les acteurs indispensables et incontournables :

- De la filière.
- Des domaines de connaissances impliqués.

Recoupement du groupe UCI avec les autres thèmes de recherche

Nous vous présentons ci-après le recoupement du groupe de travail UC1 avec les autres thèmes de recherche de MINnD :

	Thème 1 : Pratiques	Thème 2 : Expérimentations	Thème 3 : Structuration Informations	Thème 4 : Adaptation Règlementation
UCI	X	X	X	

6. APPLICATION DE L'INGÉNIERIE SYSTÈME ET DE LA GESTION DES EXIGENCES

6.1. Présentation générale

Questions auxquelles l'ingénierie système et des exigences répondent

Les méthodes « d'ingénierie système » (IS) et « d'ingénierie des exigences » (IE) pour le développement et la maîtrise des systèmes complexes répondent aux questions suivantes :

- Quelle est la limite du système ?
- Quelles sont les interactions entre systèmes existants et le système à réaliser ? Parmi ces interactions quelles sont celles incluses dans les contrats ?
- À quels usages répond une infrastructure ?
- À quels besoins répond une infrastructure ?
- Quelles sont les fonctions d'une infrastructure permettant de répondre à ces besoins ?
- De quoi une infrastructure est-elle composée ?
- Quels sont les meilleurs découpages du système ?
- Comment structurer au mieux l'information ?
- Comment gérer les exigences ?

Liens entre la gestion des exigences et l'ingénierie système

La gestion des exigences nous conduit à introduire l'ingénierie système, étant donné que l'ingénierie des exigences se comprend comme un de ses sous-ensembles. Ces exigences sont allouées à :

- Des besoins opérationnels.
- Des fonctions.
- Des objets.

Intégration et encouragement par les travaux de l'UCI

Les travaux de l'UC1 doivent donc intégrer, voire encourager, l'utilisation des méthodes d'« Ingénierie Système » et de « Gestion des Exigences ».

6.2. Ingénierie système

Termes clés

Systeme

La notion de système est la brique élémentaire de tout projet de construction permettant de définir les usages BIM des conventions BIM (ou BIM Execution Plan). Ces conventions décrivent les environnements dédiés nécessaires à la vérification de la satisfaction des exigences.

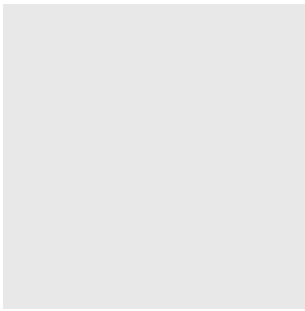
Besoins

Les ingénieurs en infrastructure travaillent trop souvent sur un des composants de l'infrastructure sans avoir suffisamment systématisé les besoins à satisfaire dans ces processus.

Avant de se focaliser sur les solutions, les besoins doivent être précisément définis, critiqués et validés.

Il est nécessaire de :

- Ne pas perdre de vue le besoin initial auquel répond le système.



- Ne pas chercher à optimiser chaque sous-système indépendamment les uns des autres.

Cycle en V

Les étapes du cycle en V que l'on retrouve dans l'ingénierie système et dans l'ingénierie des exigences sont :

Étape	Action
1.	La définition des besoins.
2.	La retranscription des besoins en exigences.
3.	La réalisation du système.

Le cycle en V est développé plus loin dans ce livrable en intégrant les 3 visions complémentaires et successives d'architecture système :

- Vision opérationnelle.
- Vision fonctionnelle.
- Vision organique.

Environnement du système « infrastructure »

Une indissociabilité d'une infrastructure de son environnement...

Il est très difficile de définir le périmètre d'une infrastructure. En effet, on ne peut pas dissocier une infrastructure de son environnement, c'est-à-dire de tout ce qui l'entoure au sens très large :

- Le réseau dont elle est un maillon.
- Les habitants et les activités qui la bordent.
- Le territoire dans lequel elle est localisée (nécessaire géolocalisation notamment).
- Les faunes et les flores qu'elle impacte.
- Les autres infrastructures qu'elle croise ou complète.
- Les sols qu'elle occupe (foncier).
- Le sous-sol avec lequel elle interagit et dont elle utilise les matériaux.
- Les acteurs indirects ou influents qu'elle concerne.
- Etc.

Une infrastructure est un système qui :

- Répond à un besoin.
- S'intègre dans un environnement.

... et sa différenciation de la notion d'ouvrage...

Une autre difficulté est de **ne pas confondre ouvrage et infrastructure**. Pour ne pas le confondre, il faut prendre en compte :

- La fonction attendue.
- Le besoin à satisfaire.

Cependant, ces points sont soumis à interprétation, par exemple :

- Il peut être considéré qu'un ouvrage d'art est une infrastructure en tant que telle, avec une fonction qui est d'assurer la continuité d'une « voie » au-dessus d'un obstacle.
- Il peut aussi être considéré que l'infrastructure est un ouvrage général qui comprend la voie (routière, ferrée, etc.), l'ouvrage d'art comme un des ouvrages qui la constituent au même titre que les remblais qui le prolongent.

Il convient de prendre en compte comment les contrats abordent cet aspect au travers du cycle de vie qui ramène la première définition comme un cas particulier du cas général : une infrastructure est composée de systèmes comprenant des ouvrages.

... à prendre en compte

Les éléments précédemment décrits sont à garder en tête pour les travaux de l'UC1, mais aussi de tous les travaux en cours dans bSI et dans l'OGC, car :

- Ils justifient la nécessité de définir dès le début du projet le périmètre de l'infrastructure et celui de ses ouvrages.
- Ils marquent très clairement la spécificité des travaux de MINnD par rapport aux BIM dédié aux bâtiments avec des éléments de l'environnement à prendre en compte différents. Les figures « [Usages BIM pour les infrastructures](#) » et « [Cartographie des cas d'usage](#) » illustrent une partie de cette spécificité.

Identification des systèmes et sous-systèmes

L'identification de systèmes et sous-systèmes est traitée **dans la tranche 2**.

Rôles et intervention des principaux acteurs d'un projet d'infrastructure

Les rôles et phasages de l'intervention des principaux acteurs d'un projet d'infrastructure sont les suivants :

Maître d'ouvrage	Le maître d'ouvrage sait ce qu'il veut, mais il n'est pas nécessairement techniquement compétent.
	Son rôle est de : <ol style="list-style-type: none"> 1. Définir les besoins attendus. 2. Approuver le produit (infrastructure ou ouvrage) en tant que réponse adaptée à ces besoins.
Maître d'œuvre	Le maître d'œuvre sait conduire un projet et est techniquement compétent.
	Son rôle est de : <ol style="list-style-type: none"> 1. Enregistrer les besoins donnés par le maître d'ouvrage. 2. Traduire ces besoins en exigences, en les complétant par les règlements adaptés et les règles de l'art. 3. Valider le produit comme respectant les exigences qu'il a listées. 4. Remettre le produit au maître d'ouvrage.
Concepteur et constructeur	Le concepteur et le constructeur sont techniquement compétents et savent concevoir et construire.
	Leur rôle est de : <ol style="list-style-type: none"> 1. Concevoir les composants (objets, process ou outils) du produit pour respecter les exigences listées. 2. Assurer une réalisation conforme à la conception. 3. Vérifier cette conformité.

Découpage du système

Représentation d'une infrastructure

Découpage en sous-systèmes

Une infrastructure est représentée en projet et en exploitation par la collection exhaustive :

- De tous les usages BIM.
- Des systèmes et sous-systèmes.

Chaque système peut, à son tour, être décomposé en sous-systèmes.

Exemple

Le système « infrastructure » peut être découpé en sous-systèmes associés à des disciplines spécifiques :

- Génie civil.
- Assainissement.
- Sécurité.
- Terrassement.
- Équipement.
- Etc.

De l'ingénierie système...

C'est donc bien de l'ingénierie système. Il faut d'abord lister d'une manière exhaustive ces systèmes et sous-systèmes, afin de leur affecter :

- Une responsabilité.
- Un budget.
- Une échéance.
- Etc.

... qui prend en compte les évolutions au sein de chaque phase d'étude...

Ce découpage est la manière de travailler la plus traditionnelle et la plus efficace. La difficulté de ce découpage se situe dans l'évolution du système au sein de chaque phase d'étude. En effet, un système n'est pas statique, mais évolutif.

Il fait l'objet d'itérations :

- Successives.
- Par phases de développement.
- De plus en plus détaillées.
- Liées à des optimisations, mais aussi à des interfaces avec les systèmes adjacents ou impactant.

... ainsi que les possibles interférences avec les systèmes adjacents

C'est là que le BIM peut être d'une redoutable efficacité. En effet, la puissance de traitement des machines permet d'alerter l'homme lors d'interférences avec les systèmes adjacents. Il peut s'agir de collisions physiques, mais aussi d'interférences avec :

- Une exigence contractuelle.
- Une réglementation particulière.
- Une contrainte environnementale.
- Une volonté politique.

6.3. Gestion des exigences

Modélisation des exigences de chaque système

Il est donc indispensable de modéliser les exigences de chaque système, afin de vérifier, à chaque itération de son développement :

- Sa conformité intrinsèque.
- Son adéquation avec l'ensemble des systèmes constitutifs du projet dans sa globalité.

Rôle de la direction de projet

C'est aujourd'hui le rôle d'une direction de projet d'analyser et de prendre les bonnes décisions en fonction du niveau de maturité de chaque système en cours de développement.

Intérêt du BIM

Le BIM doit être un outil de support de décision, qui peut apporter avec précision et pertinence :

- Les alertes sur des conflits potentiels entre systèmes.
- Des dérives éventuelles.
- Le non-respect des exigences traduisant les besoins du maître d'ouvrage.

7. TRAVAUX ET RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE TRAVAIL

Réflexions menées

Les réflexions suivantes ont été menées par le groupe de travail :

- La représentation d'une structure hiérarchique d'un projet d'infrastructure.
- La prise en compte de cette représentation par le cycle en V.
- Le séminaire qui aborde les questions suivantes :
 - Les différentes approches en cours : buildingSMART International et l'OGC.
 - La structuration d'une infrastructure vue par COMMUNIC.
 - L'ingénierie des systèmes.
 - L'ingénierie des exigences.

Ces réflexions ont **permis de préciser le contenu attendu de ce groupe de travail**.

Objectifs vis-à-vis...

Les travaux du groupe de travail permettent de clarifier les objectifs qui doivent être recherchés dans l'UC1 afin qu'ils soient utiles à tous les partenaires qui l'utilisent ou y font référence. Parmi ces partenaires, nous ciblons :

- Les organismes qui travaillent sur les standards, en particulier buildingSMART.
- Les autres groupes de travail de MINnD.
- Les sociétés utilisatrices du BIM.
- Les éditeurs développant les outils dédiés au BIM.

... des organismes qui travaillent sur les standards

▼ Convaincre les organismes de prendre en compte l'environnement d'une infrastructure...

Pour structurer les informations et les travaux sur les IFC dans le domaine des bâtiments, buildingSMART a retenu une cartographie des « usages BIM ». Cette cartographie fait l'impasse sur l'environnement du bâtiment. Les travaux de l'UC1 doivent :

- Cibler cette population.
- La convaincre de la nécessité de prendre en compte l'environnement d'une infrastructure pour concevoir, structurer et utiliser un « BIM Infrastructure ».

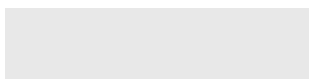
L'environnement dont on parle ici est au sens très large, par exemple :

Environnement d'une infrastructure

Sol et au sous-sol.
Activités des territoires traversés.
Populations concernées par l'infrastructure que se soit par les acquisitions foncières et par les impacts de l'infrastructure sur leurs biens.
Services administratifs existants.
Réseaux existants (routiers, ferroviaires, électriques, hydrauliques).
Faune, flore, paysage, archéologie.
Usagers de l'infrastructure.
Exploitants de l'infrastructure.

Cette liste n'est pas exhaustive. L'environnement à prendre en compte dépend :

- De chaque projet.
- De ses fonctions.



- Des besoins auxquels l'infrastructure répond.
- De sa composition organisationnelle.

... des organismes qui travaillent sur les standards

▼ ... et leur faire comprendre qu'une infrastructure est un système global composé de sous-systèmes...

Mise à part la nécessaire prise en compte de cet environnement complexe dans la structuration d'une infrastructure, il convient de bien faire comprendre qu'une infrastructure est un système global qui se compose de sous-systèmes.

Il s'agit d'assembler ces sous-systèmes en préservant la spécificité et la spécialité de chaque composant tel que :

- Un ouvrage d'art.
- Un tunnel.
- Un ouvrage de terrassement.
- Un système de péage.
- Un système hydraulique.
- Un système d'exploitation.
- Etc.

C'est l'intégration de tous ces composants dans un ensemble cohérent qui constitue l'infrastructure. Cette infrastructure est elle-même intégrée dans un vaste environnement.

▼ ... en vue de concevoir une cartographie des cas d'usage plus générale

C'est ainsi que le groupe de travail en est venu à concevoir une cartographie des cas d'usage plus générale que celle de la question initiale. Nous vous la présentons ci-après :

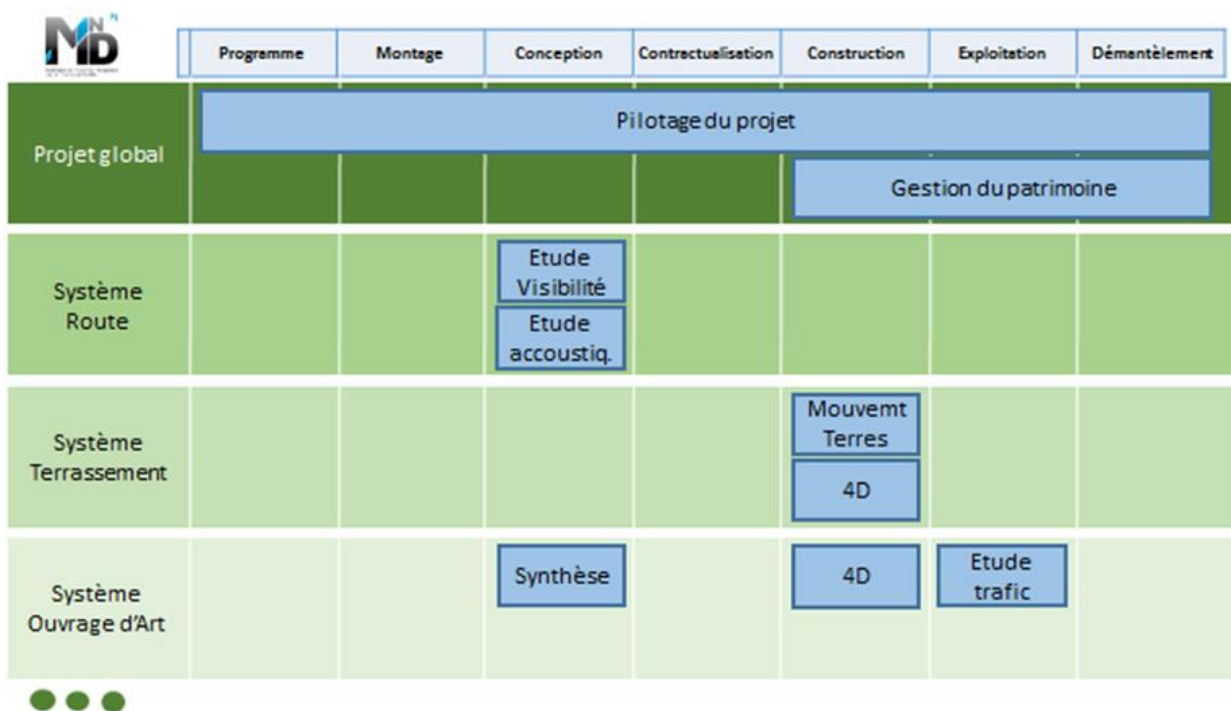


Figure 3 : cartographie des cas d'usage

Par rapport à la figure précédente, ce schéma nous indique que :

- Le projet de « Terrassement » (ou l'usage BIM « Terrassement ») doit être couvert par tout le cycle de vie.
- Le projet « Ouvrage d'art » doit être couvert par tout le cycle de vie.

... des organismes qui travaillent sur les standards

... des autres groupes de travail de MINnD

... des sociétés utilisatrices du BIM

Les cas d'usage élémentaires sont répartis dans les cases de ce schéma, mais il faut retenir :

- Qu'il y a des phases amont à la conception sur lesquelles le BIM doit être opérationnel (par exemple « Montage »).
- Qu'il existe des phases aval à l'exploitation sur lesquelles le BIM doit être opérationnel (par exemple : « Démantèlement »).
- Qu'une phase majeure pour le BIM Infrastructure est sans nul doute la phase permanente de pilotage général, phase garantissant l'intégration des différents composants de l'infrastructure. Cette phase permanente peut être aussi bien le pilotage d'un projet de construction que le pilotage d'une infrastructure sous exploitation.

Chaque groupe de travail du projet national MINnD :

- Analyse la problématique du BIM sous un angle particulier.
- Apporte des visions différentes.

Toutes ces réflexions doivent être cohérentes et complémentaires. Il convient donc que les propositions ou conclusions de l'UC1 soient utilisables, claires et compréhensibles par tous les autres groupes de travail de MINnD.

De même, les membres de l'UC1 se tiennent informés des travaux des autres groupes. Ceci a permis de sensibiliser l'UC1 sur l'intégration par les autres groupes des démarches d'ingénierie des systèmes et de la gestion des exigences.

▼ Des attentes des sociétés utilisatrices...

Les différentes sociétés utilisatrices potentielles du BIM (maîtres d'ouvrage, ingénieries, sociétés de construction) sont en attente :

- De conseils. • De guides. • Voire de directives.

▼ ... et des inquiétudes...

La communication faite sur l'utilisation du BIM dans le domaine des infrastructures a créé une certaine inquiétude dans les sociétés : comment faire pour ne pas être en retard et comment conduire le changement que cette utilisation nécessite ?

De même, les extensions actuelles des INTERFACE et des modèles GML en direction des infrastructures abordent la problématique en centrant les travaux sur la définition de cas d'usages sans véritable réflexion sur une approche globale d'un projet d'infrastructure.

Les questions auxquelles il faut répondre sont :

Questions des sociétés utilisatrices potentielles du BIM

Que recouvre l'utilisation du BIM pour mon projet d'infrastructure ?

Pour quelles tâches qui me sont confiées puis-je utiliser le BIM ?

Mon projet est-il adapté au BIM ?

Comment définir le périmètre (géographique, par domaine, par système, par acteur, par phase, etc.) sur lequel j'utilise le BIM ?

Puis-je dégrader les fonctionnalités du BIM sans mettre en danger la qualité de mon projet (par une maquette virtuelle de représentation du projet à des fins de communication par exemple) ?

... des éditeurs développant les outils dédiés au BIM

▼ ... pour un objectif de meilleure communication sur l'utilisation du BIM

Les attentes et les inquiétudes des sociétés utilisatrices du BIM rappellent ainsi la nécessité pour MINnD :

- De définir ou d'aider à définir un certain nombre d'usages du BIM.
- De fournir une aide à l'élaboration de guides d'implémentation du BIM afin de permettre l'élaboration de conventions BIM (BIM Execution Plan). Les conventions BIM sont maintenant un document de base à fournir au démarrage de chaque projet.

▼ Convaincre les éditeurs de la nécessité des outils globaux et multi-domaines

Les éditeurs de logiciels n'ont pas terminé d'imaginer les outils qui permettent de mettre en place et d'utiliser le BIM dans les infrastructures. Dans certains domaines, les premiers outils sont opérationnels. Cependant, ceux relatifs à la conception et à la gestion une infrastructure dans sa globalité et dans son environnement :

- N'existent pas.
- Ne semblent pas en développement.

Ainsi, il faut convaincre les éditeurs de la nécessité des outils globaux et multi-domaines :

- Gérant en cohérence de nombreux sous-systèmes.
- Maîtrisant les évolutions permanentes de ces sous-systèmes sur des durées de projet très longues.

▼ ... à l'aide des résultats de l'UC1

Les résultats de l'UC1 doivent permettre aux éditeurs de comprendre :

- Comment est structurée une infrastructure.
- Quelles fonctionnalités doivent assurer les logiciels attendus.

Justifier l'utilisation du BIM dans la conduite des projets

Un respect des règles de bonne conduite des projets...

... facilité par l'utilisation du BIM...

Beaucoup de règles ou de conseils rappelés dans le cadre des travaux de MINnD et en particulier dans ceux de l'UC1 sont des règles de bonne conduite des projets :

Règles de bonne conduite des projets

Revenir aux besoins.
Préparer et structurer avant de commencer la conception.
Ne pas étudier les solutions avant d'avoir assimilé les besoins, services et fonctions attendus.
Etc.

Ces bonnes pratiques sont **indispensables pour la mise en place du BIM**.

Il est fondamental de montrer par nos travaux que malgré que le BIM ne soit pas obligatoire pour appliquer ces règles, il peut aujourd'hui grandement faciliter leur mise en œuvre pour deux raisons :

- Des capacités technologiques nouvelles (données et outils).
- Une culture des acteurs du secteur en évolution (partage, 3D, communication, etc.).

... en raison des capacités technologiques nouvelles (données et outils)

L'utilisation du BIM dans la conduite des projets peut être justifiée en raison des capacités technologiques nouvelles :

Capacité technologique nouvelle	Ce qu'elle permet
De grandes capacités de stockage et un traitement rapide de grands volumes d'informations	<p>De nos jours, les grandes capacités de stockage et le traitement rapide de grands volumes d'informations permettent d'envisager l'utilisation massive de l'informatique sur tous types de projets d'infrastructures, même :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les plus longs. • Les plus complexes.
Des plateformes d'échange dédiées et une disponibilité des outils de gestion des données	<p>Nous assistons aujourd'hui à une mise en place de plateformes d'échange dédiées et à une disponibilité des outils de gestion des données permettant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De gérer les droits d'accès. • De garantir la sécurité de l'information. <p>Cela permet d'établir la confiance nécessaire au déploiement de solutions partagées par tous les acteurs d'un même projet.</p>
Des capacités des logiciels de conception en 3D et de diverses simulations	<p>Une appropriation rapide et facile par l'ensemble des utilisateurs de l'information partagée est rendue possible grâce :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aux capacités des logiciels de conception en 3D et de diverses simulations indispensables à la définition ou à l'optimisation d'un projet. • À la facilité de navigation au sein des données. <p>Cela contribue à une meilleure compréhension de l'objet à construire ou de son insertion dans son environnement.</p>

... et d'une culture des acteurs du secteur en évolution

▼ **Une maturité et prise de conscience du secteur de la construction...**

Nous assistons à :

- Une maturité du secteur de la construction.
- Une prise de conscience de l'intérêt de revisiter les processus traditionnels pour une démarche BIM.

La participation nombreuse au projet de recherche MINnD en témoigne.

▼ **... qui favorise le travail collaboratif dans un environnement BIM...**

Cela confirme l'idée que le travail collaboratif dans un environnement BIM est :

- Une démarche majeure de progrès.
- Un atout concurrentiel indéniable.
- Un vecteur de qualité, de respect des délais et de maîtrise des coûts.

▼ **... via une approche verticale « métier »...**

Pour cela, chaque acteur et chaque discipline doit pouvoir :

- Accéder aux données qui le concernent.
- Partager sa valeur ajoutée, dans le respect des responsabilités et des missions qui l'engagent.

▼ **... englobée dans une dans une démarche transverse « projet »**

Cette approche verticale « métier » doit donc être englobée dans une démarche transverse « projet ». Cela permet de confronter chaque système à son environnement proche, ou en interface identifiée.

C'est pourquoi la notion d'ingénierie système est à considérer avec attention pour structurer les données d'un projet d'infrastructure.

Prendre en compte les résultats de MINnD et les retours d'expérience

Des avancées récentes...

... qui font apparaître deux conclusions...

... et poussent à travailler selon les méthodes de l'ingénierie des systèmes

Toutes nos réflexions sont étayées par des avancées récentes :

Avancement des différents cas d'usage	Les chaussées (UC2).
	L'IFC Bridge (UC3, et en particulier les manques des classes IFC existantes).
Avancement du BIM dans les projets	Contrats d'assistance à maîtrise d'ouvrage (CSNO, Qatar Rail, etc.).
	Définition des usages BIM dans les conventions BIM.
	Avancement des travaux de CE.Tolmer sur la question des LOD et des MVD (UC6).

Les avancées récentes font apparaître deux conclusions :

- **La mise en œuvre dans les contrats oblige à mettre au premier plan la finalité du BIM.** La valeur ajoutée du BIM s'évalue par rapport aux termes du contrat et nécessite donc prioritairement l'analyse et la structuration des exigences. Il faut souligner que l'introduction du BIM par les MOA dans les contrats sert à adresser à la problématique du cycle de vie de l'information tout au long du cycle de vie de l'infrastructure.
- L'approche de structuration des exigences rapporte celles-ci aux ouvrages à construire. Autrement dit, **l'ingénierie des exigences conduit naturellement à s'intéresser à l'ingénierie des systèmes.**

La question initiale est confirmée par les différents angles d'attaques du projet MINnD. En effet, le périmètre d'un projet d'infrastructure et la réception des ouvrages nous poussent à travailler selon les méthodes de l'ingénierie des systèmes. Nous travaillons ainsi sous trois aspects contigus, mais distincts :

- Un projet (dans chacune de ses phases) est un système.
- Un projet embrasse non seulement des espaces, des ouvrages, des systèmes, mais doit adresser de nombreuses parties prenantes.
- Un projet s'inscrit dans un territoire, qu'il vient perturber, modifier et structurer. Il s'inscrit donc dans une architecture de systèmes qui le dépasse dans chaque phase du cycle de vie (pas seulement la phase d'exploitation).

8. PROPOSITION DE TRAVAIL POUR LA TRANCHE 2

Livrable attendu

Un travail heuristique en première tranche...

... qui doit être décrit précisément en seconde tranche

La problématique de l'ingénierie système appliquée aux infrastructures est abordée par touches successives. Elle est abordée à partir d'une question qui paraît simple : comment décrire les « Usages BIM » à développer pour un guide de réalisation d'un protocole BIM (BIM Execution Plan) ?

En d'autres termes, le travail du groupe de l'UC1 représente un travail heuristique, en tant que théorie d'une élaboration d'une approche scientifique.

À partir du travail du groupe de l'UC1, la tranche 2 doit aboutir à promouvoir des processus méthodologiques pour une mise en œuvre sur les projets.

Le livrable doit donc décrire plus précisément ce qui a été esquissé dans cette première tranche :

Contenu de la tranche 2 à décrire précisément

Les approches de l'ingénierie système appliquées aux projets d'infrastructures, en dégageant l'applicabilité, mais aussi les limites.

La mise en œuvre de l'ingénierie des exigences.

La structuration des informations nécessaires à cette mise en œuvre.

L'applicabilité dans des guides pour la réalisation de conventions BIM dédiées aux projets d'infrastructure.

Enjeux majeurs et feuille de route

Les enjeux majeurs du projet MINnD et plus particulièrement de ce livrable sont à prendre en compte pour justifier de faire de ce futur document un livrable majeur de la tranche 2. Ces enjeux majeurs sont :

- Les développements en cours :
 - Sur les standards existants.
 - Sur de nouveaux standards.
- La mise à disposition d'un outil méthodologique nécessaire aux développements des protocoles BIM pour les projets d'infrastructure.
- La jonction avec la problématique bâtiment du PTNB³.

³ PTNB : Plan Transition Numérique du Bâtiment

9. CONCLUSION

Une mise en place d'une démarche BIM...

... qui doit relever des enjeux

... qui doit répondre à plusieurs interrogations

... qui doit contribuer à l'évolution du secteur de la construction

La mise en place d'une démarche BIM doit permettre de relever les enjeux suivants :

- Une complexification des projets.
- Un respect des coûts, des délais et des exigences qui reste d'actualité dans le domaine des infrastructures.

La définition des usages BIM doit nous permettre de répondre aux questions :

- À quel moment les outils offerts par le BIM doivent-ils être utilisés ?
- Dans quelles conditions ?
- Par quel acteur ?
- Pour répondre à quel besoin ?

La définition des usages BIM doit nous permettre donner des pistes de développement et d'amélioration pour l'avenir du secteur de la construction.

Une approche scientifique de l'ingénierie système et de l'ingénierie des exigences

Nous avons identifié des manques d'ordre méthodologique et conceptuel :

- En partant des usages BIM proposés par buildingSMART pour le bâtiment.
- En cherchant à les appliquer pour les infrastructures.

C'est ainsi que nous nous sommes tournés vers l'approche scientifique de l'ingénierie système et de l'ingénierie des exigences.

Une méthode à adapter pour les projets d'infrastructure

Des méthodes utilisées dans d'autres industries...

... mais très peu dans la construction...

... et nécessitent des adaptations étudiées en partie 2

Ces méthodes sont utilisées dans d'autres industries comme :

- L'aéronautique.
- L'aérospatial.
- L'automobile.
- La défense.

Elles ont largement fait leurs preuves pour maîtriser la complexité du développement de systèmes industriels complexes.

Cependant l'IS et l'IE n'ont été que très peu utilisées dans le domaine de la construction.

Cette première étude montre que l'application de ces méthodes n'est pas transposable sans modifications pour les projets d'infrastructure.

Dans la partie 2 du livrable, nous étudions comment :

- Appliquer l'ingénierie système et l'ingénierie des exigences dans le domaine des infrastructures.
- Les adapter si nécessaire.

L'utilisation de ces méthodes nous permet de définir :

- L'utilisation du BIM.
- La structuration de l'information, support des usages BIM pour les projets d'infrastructures.

Cette structuration reste valable même sans utiliser l'IS et l'IE dans les projets. **Nous développons donc dans la partie 2 les outils dans des termes compréhensibles à des non-initiés.**

10. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : usages BIM développés par buildingSMART dans le bâtiment.....	8
Figure 2 : usages BIM pour les infrastructures.....	12
Figure 3 : cartographie des cas d'usage	22