



Modélisation des INformations INteropérables  
pour les INfrastructures Durables

## GT2.1 : Réception des projets en BIM

### Auteurs / Organismes

Clément GAUTHIER (SYSTRA)  
Hicham BENCHEMLED (EGIS)  
Pierre BENNING (BOUYGUES TP)  
Emmanuel CORNUT (ARTELIA)

Jérôme COUSTETS (EGIS)  
Angelo CIRIBINI (Univ. Degli Studi di Brescia)  
Emmanuel NATCHITZ (ESITC Paris)  
Vincent COUSIN (Processus & Innovation)

### Relecteur / Organisme

Sylvain Guilloteau (ANDRA)

Thème de rattachement : Qualification des données

MINnDs2\_GT2.1\_reception\_projet\_BIM\_023\_2022

LC/21/MINNDS2/021-022-023-024-025-026-117

Avril 2023

Site internet : [www.minnd.fr](http://www.minnd.fr)

Président : François ROBIDA Chefs de Projet : Pierre BENNING / Vincent KELLER

Gestion administrative et financière : IREX ([www.irex.asso.fr](http://www.irex.asso.fr)), 9 rue de Berri 75008 PARIS, [contact@irex.asso.fr](mailto:contact@irex.asso.fr)

<b>1</b>	<b>RÉSUMÉ / ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>PRÉCONISATION D'UN PROCESSUS VISA EN BIM</b> .....	<b>7</b>
	3.1 Dimensions BIM en phase travaux.....	7
	3.2 Rappel du processus « classique » de VISA des documents d'exécution .....	12
	3.3 Préconisations pour un processus VISA en BIM.....	15
	3.4 Présentation d'un processus VISA en BIM.....	24
<b>4</b>	<b>VALIDATION D'UNE MAQUETTE TQC</b> .....	<b>33</b>
	4.1 Introduction.....	33
	4.2 Attentes MOA.....	35
	4.3 Démonstrateur.....	40
	4.4 Validation conception et modèles .....	50
	4.5 Processus de Validation Progressive d'une Maquette.....	58
	4.6 Du DOE aux modèles d'information d'actif et de l'exploitant .....	64
<b>5</b>	<b>CONTRAINTES JURIDIQUES ET TECHNIQUES</b> .....	<b>70</b>
	5.1 Introduction.....	70
	5.2 Cadre juridique et contractuel.....	70
	5.3 Contraintes technologiques ou réglementaires .....	75
	5.4 Problématiques juridiques de chaque acteur .....	76
<b>6</b>	<b>PRÉCONISATIONS POUR LA COMPOSITION D'UN DOE-DIUO NUMÉRIQUE</b> .....	<b>78</b>
	6.1 Introduction.....	78
	6.2 Prescriptions pour l'organisation et la production du DOE numérique.....	78
	6.3 Valeur et usages .....	93
	6.4 Besoins et responsabilités contractuelles des gestionnaires, exploitants et mainteneurs .	101
<b>7</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>105</b>
<b>8</b>	<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	<b>114</b>
<b>9</b>	<b>ANNEXES</b> .....	<b>116</b>
	9.1 Vocabulaire et Définitions .....	116
	9.2 Outils et processus d'acquisition des données .....	127
	9.3 Partage des rôles et responsabilités dans la constitution du DOEN.....	133
	9.4 Liste des systèmes de classification .....	134
	9.5 Présentation globale du processus VISA en BIM .....	137

# I RÉSUMÉ / ABSTRACT

## Résumé

La tendance récente est de livrer l'ouvrage construit avec son double digital sous la forme d'un DOE numérique. Contrairement au DOE classique, sa prescription et sa réalisation sortent du cadre contractuel connu et s'avèrent complexes à fiabiliser.

Ce présent livrable relatif à la réception d'un projet réalisé avec une démarche BIM et au DOE numérique est à prendre comme un mode d'emploi. Il s'adresse à des personnes qui possèdent une « culture BIM » avancée.

Chacun des chapitres qui le compose répond à l'un des enjeux qu'il convient de maîtriser pour livrer un DOE conforme au besoin de la Maîtrise d'Ouvrage. Un DOE numérique garde tout d'abord sa vocation première qui est d'être la mémoire de l'ouvrage construit. Il offre également la possibilité d'accélérer une entrée en périmètre de gestion, exploitation et maintenance des infrastructures et ouvrages livrés.

Les explications qui suivent permettent d'accéder directement aux chapitres de ce livrable.

### Préconisation d'un processus visa en bim

Le chapitre 3 propose d'organiser les forces vives de la phase EXE afin d'aboutir à la fiabilisation du DOE numérique. Nous considérons que les éléments constitutifs de ce DOE nécessitent une validation qui s'apparente à un circuit de VISA.

Nous fiabilisons le double numérique au même titre que la conception des ouvrages. Ce circuit est donc appelé le « VISA en BIM » et s'interface avec le VISA classique pour que la démarche soit initiée dès le début de la réalisation et que les ressources soient disponibles.

Le schéma complet du processus est accessible Fig.7 au chapitre 3.4 et en Annexe 9.5.

### Validation d'une maquette TQC

Le chapitre 4 explicite la validation d'une maquette « Tel Que Construit » dans sa géométrie et les informations en lien.

Il prend appui sur les attentes formulées par la Maîtrise d'ouvrage (chapitre 4.2) et sur un exemple tiré d'une expérience en situation (chapitre 4.3) pour expliciter le passage du DOE vers un modèles d'information des actifs (chapitre 4.6)

### Contraintes techniques et juridiques

Le chapitre 5 traite des contraintes techniques et juridiques présentant un frein pour la constitution du DOE numérique.

Dans ce chapitre est posé le cadre juridique du DOE numérique. On y explicite les deux grands schémas contractuels possibles ainsi qu'une sensibilisation au partage des rôles et des responsabilités, utile lorsque le cadre contractuel sort des habitudes.

### Préconisations pour la composition d'un DOE numérique

Le chapitre 6 porte l'attention sur une méthodologie et une aide à la prescription pour la composition du DOE numérique.

## Abstract

The recent trend is to deliver the built work with its digital twin in the form of a digital handover. In contrast to the traditional handover, its prescription and execution are outside the known contractual framework and are complex to make reliable.

This present deliverable regarding the acceptance of works of a project carried out with a BIM approach and to the digital handover is to be taken as a user manual. It is aimed at people who have an advanced "BIM culture".

This deliverable on the digital handover is to be taken as an instruction manual.

Each of the chapters that make up this document addresses one of the issues that must be mastered in order to deliver a handover that meets the needs of the project owner. A digital handover keeps its primary purpose, which is to be the

<b>Recommendation for a bim approval process</b>
<b>Validation of an as built model</b>
<b>Technical and legal constraints</b>
<b>Recommendations for the composition of a digital handover</b>

memory of the built asset. It also offers the possibility of accelerating the management, operation and maintenance of the infrastructure and works delivered.

The following explanations allow direct access to the chapters of this deliverable

Chapter 4 proposes to organise the EXE phase in order to make the digital handover reliable. We consider that the elements of this handover require an approval that is similar to a validation circuit.

We make the digital asset reliable in the same way as the design of the construction. This circuit is therefore called "validation 2" and interfaces with the classic validation so that the process is initiated at the beginning of the construction and that the resources are available.

The full process map is available in Fig.7 in Chapter 3.4 and Appendix 9.5.

Chapter 4 explains the validation of an "As-Built" model in its geometry and related information.

It is based on the expectations formulated by the Owner (chapter 4.2) and on an example drawn from a real-life experience (chapter 4.3) to explain the transition from the handover to an asset information model (chapter 4.6)

Chapter 5 deals with the technical and legal constraints that limit the creation of the digital handover (As Built).

This chapter sets out the legal framework for the digital handover. It explains the two main contractual schemes that are possible and raises awareness of the sharing of roles and responsibilities, which is useful when the contractual framework is not standard.

Chapter 6 focuses on a methodology and prescription aid for the composition of the digital handover (As Built).

**Abréviations**

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>
<b>AIM</b>	Asset Information Model
<b>AMO / AMOA</b>	Assistance Maitrise d'Ouvrage
<b>AMP</b>	Aéroport Marseille Provence
<b>ANN</b>	Annulé (Statut de document)
<b>AOR</b>	Assistance Opérations de Réception
<b>ATec / ATex</b>	Avis techniques
<b>AVP</b>	Phase Avant-Projet
<b>BCF</b>	BIM Collaboration Format
<b>BEE</b>	Bon pour Études d'Exécution
<b>BIM</b>	Building Information Modeling
<b>BPMN</b>	Business Process Model & Notation
<b>bSDD</b>	buildingSMART Data Dictionary
<b>bSI</b>	buildingSMART International
<b>CCAG</b>	Cahier des Clauses Administratives Générales
<b>CCTG</b>	Cahier des Clauses Techniques Générales
<b>CDC</b>	Cahier des Charges
<b>CDE</b>	Common Data Environment (voir aussi EDC)

<b>CSPS</b>	Coordinateur Sécurité et Protection de la Santé
<b>CT / CET</b>	Contrôleur Technique
<b>DIUO</b>	Dossier d'Intervention Ultime sur Ouvrage
<b>DM</b>	Demande de Modifications
<b>DOE</b>	Dossier des Ouvrages Exécutés
<b>DOEN</b>	Dossier des Ouvrages Exécutés Numérique
<b>DSI</b>	Direction du Système d'Information
<b>DTU</b>	Document technique unifié
<b>EDC</b>	Environnement de Données Commun (voir aussi CDE)
<b>EM</b>	Exploitation Maintenance
<b>EP</b>	Eaux pluviales
<b>EXE</b>	Phase Exécution
<b>FOB</b>	Fiche d'Observation
<b>GED</b>	Gestion Électronique de Documents
<b>Géfra</b>	Groupe d'étude pour le jumelage des voies Ferrées à grande vitesse et des Routes et Autoroutes
<b>GEM</b>	Gestion Exploitation Maintenance
<b>GER</b>	Gros Entretien Rénovation
<b>GMAO</b>	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
<b>GT</b>	Groupe de Travail
<b>GTB</b>	Gestion Technique du Bâtiment
<b>GUID</b>	Globally Unique Identifier
<b>IDM</b>	Information Delivery Manual
<b>IFC</b>	Industry Foundation Classes
<b>LIDAR</b>	Light Detection & Ranging
<b>LOD</b>	Level Of Detail (Niveau de Détail)
<b>LOIN</b>	Level Of Information Need (Besoin de niveau d'information)
<b>MCR</b>	Marché de Conception-Réalisation
<b>MEP</b>	Mechanical Electrical Plumbing
<b>MGP</b>	Marché Global de Performance
<b>MN</b>	Maquette Numérique
<b>MOA</b>	Maîtrise d'Ouvrage
<b>MOE</b>	Maîtrise d'Œuvre
<b>MOP</b>	Loi MOP - Maîtrise d'Ouvrage Publique
<b>NC</b>	Non-Conformité
<b>OPR</b>	Opérations Préalables à la Réception
<b>PAQ</b>	Plan Assurance Qualité
<b>PGC</b>	Plan Général de Coordination
<b>PIM</b>	Project Information Model
<b>PRE</b>	Préliminaire (Statut de document)
<b>PRO</b>	Phase Projet
<b>RACI</b>	Matrice de Responsabilités (Responsible Accountable Consulted Informed)
<b>REA</b>	Phase Réalisation

<b>RJ</b>	Registre Journal
<b>RPDL</b>	Rond-Point des Lavandes
<b>TQC</b>	Tel Que Construit
<b>VAO</b>	Vérifié Avec Observation (Statut de document)
<b>VAR</b>	Vérifié A Resoumettre (Statut de document)
<b>VSO</b>	Vérifié Sans Observation (Statut de document)

### Glossaire / Vocabulaire

Un glossaire des mots du BIM est disponible sur le site internet <https://www.minnd.fr/livrables/>

#### Notions complémentaires

Un glossaire spécifique des mots et concepts utilisés dans les développements de ce présent livrable constitue le chapitre 9.1.

### Mots clés principaux (Fra)

MINnD ; Recherche ; Construction ; Infrastructure ; BIM ; Maquette numérique ;

### Mots clés spécifiques au livrable (Fra)

Réception d'un ouvrage ; DOE numérique ; Visa ; Jumeau numérique

### Main key words (Eng)

MINnD; Research; Construction; Infrastructure; BIM; Digital model;

### Deliverable key words (Eng)

Digital commissioning; Digital As Built; Validation;

## 2 INTRODUCTION

### Architecture et objectifs du document

#### Le processus de visa au cœur des processus de réception

Le BIM, vecteur de transformation de la filière du BTP, doit permettre entre autres, la dématérialisation du processus de visa et faciliter la réception des chantiers. Peu d'avancées concrètes ont été effectuées sur ce sujet : le visa se fait encore aujourd'hui sur la base de documents et plans extraits de la maquette numérique métier. Les pièces écrites et graphiques assorties du visa du maître d'œuvre se conforment à la loi MOP désormais intégrée dans le code de la commande publique en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> avril 2019 et font foi pour déterminer les responsabilités. Ainsi, la maquette numérique sert à faciliter l'analyse des éléments de la construction.

#### Repenser les processus de réception tout au long du déroulement du projet

Comment peut-on améliorer et repenser les processus de réception habituels et user de toutes les technologies à disposition pour faciliter cette étape cruciale d'un projet de construction ?

En quoi le BIM modifie ou optimise-t-il la mission de Réception telle que définie dans le code de la commande publique vis-à-vis de :

- L'organisation des Opérations Préalables à la Réception (OPR) des travaux ;
- Le suivi des réserves formulées lors de la réception des travaux jusqu'à leur levée ;
- L'examen des désordres signalés par le maître de l'ouvrage ;
- La constitution du dossier des ouvrages exécutés nécessaires à l'exploitation de l'ouvrage (DOE).

Le présent Livrable a donc pour objectif :

- De rappeler dans sa 1<sup>ère</sup> partie les principales définitions, vocabulaires et expressions utilisés afin d'avoir un langage commun. Ces définitions ne reprennent pas celles déjà données antérieurement par le projet MINnD et ne précisent que les sens des mots supplémentaires nécessaires.
- De présenter dans sa 2<sup>ème</sup> partie l'intégration d'une dimension BIM en phase de travaux associé à un processus de Visa documentaire en BIM mené durant toute la phase d'exécution des travaux jusqu'à la Réception et la remise d'un DOE Numérique.

D'autres livrables complémentaires de ce GT « Réception des projets en BIM » portent sur :

- Les moyens d'acquisition et de validation en Maquette Numérique – BIM, garant d'un modèle « Tel Que Construit » (TQC),
- Des démonstrateurs « processus et outils BIM » en phase AOR,
- L'inventaire des contraintes techniques et juridiques identifiées,
- Des préconisations pour un DOE / DIUO en Maquette Numérique – BIM.

## 3 PRÉCONISATION D'UN PROCESSUS VISA EN BIM

### Vocabulaire et Définitions

Tout le vocabulaire technique et réglementaire utilisé dans ce chapitre est défini en annexe 9.1. Cette annexe rappelle les écrits de référence auxquels se rattacher sur le sujet du DOE et de l'exécution des travaux. Il centralise une base de connaissances dans laquelle le lecteur pourra consolider ses acquis et mieux comprendre le contexte des préconisations proposées.

### 3.1 Dimensions BIM en phase travaux

#### Objectifs métiers en phase travaux

En préambule à cette section, il semble important de souligner que si toutes les exigences des différents métiers doivent être satisfaites, ceci ne suffira pas à garantir la bonne exécution des études et travaux. En effet, il est indispensable que toutes ces exigences individuelles des métiers soient correctement intégrées dans un seul ouvrage performant de façon non conflictuelle entre elles, ce qui est la responsabilité de la personne ou de l'organisme en charge de cette intégration selon les dispositions contractuelles mises en place par le Maître d'ouvrage.

#### Définition Objectif métier

Un objectif métier (ou cas d'usage métier) est un processus décrivant une activité de management d'un projet :

- Production des métrés et des quantitatifs.
- Revue de satisfaction des exigences de performance de l'ouvrage.
- Suivi de l'avancement du chantier.
- Synthèse.
- Etc.

C'est un processus traditionnel d'un projet de construction dont la portée est compréhensible par la direction de projet.

#### Définition Usage BIM

Un usage BIM (ou procédé BIM) est un processus élémentaire utilisant des technologies numériques :

- Modélisation 3D.
- Étude des variantes et gestion des configurations.
- Planification 4D.
- Contrôles automatiques pour suivi avancement.
- Etc.

C'est un processus utilisé par les contributeurs au processus BIM sous le contrôle de l'équipe de BIM management.

Les usages BIM doivent avoir pour **objet de répondre aux objectifs métiers**. Chaque objectif métier est nourri par autant d'usages BIM que nécessaire.

#### Classification et numérotation

Les objectifs métiers et usages BIM sont les suivants

<b>PRGnn</b>	Objectifs (MOA) pour la programmation.
<b>ETUnn</b>	Objectifs pour les études de conception (toutes phases).
<b>TVXnn</b>	Objectifs réalisation des travaux.
<b>LIVnn</b>	Objectifs livraison de l'ouvrage.
<b>GEMnn</b>	Objectifs gestion exploitation maintenance.
<b>BIMnn</b>	Usages BIM clés.



**Besoins opérationnels** Nous vous présentons dans la figure 4 suivante la classification et la numérotation des objectifs métiers et des usages BIM issues du guide MINnD S1 : « GT2.1 : Réception des projets en BIM ».

Les entrants de tout projet correspondent aux besoins opérationnels exprimés par le maître d’ouvrage, c’est-à-dire les objectifs et la finalité du projet. Cela se traduit en termes :

- D’**exigences** (calendrier, budget, trafic, etc.).
- D’**impacts** (environnementaux, économiques, sociétaux, etc.).

**Vérification de leur prise en compte** Afin de vérifier que ces besoins ont bien été pris en compte, le maître d’ouvrage exprime et formalise des exigences qui doivent être quantifiables.

Cela permet de confronter l’ouvrage réalisé aux besoins qu’il doit remplir.

**Des prérequis pour la réalisation des objectifs métiers** Les besoins opérationnels ne sont donc pas un objectif métier. Ils représentent des prérequis pour la réalisation de tous les objectifs métiers décrits ci-après.

PRG	Programmation (MOA)	ETU	Conception (toutes phases)	TVX	Réalisation des travaux	LIV	Livraison de l’ouvrage	GEM	Exploitation-Maintenance	BIM	Usages BIM clés
01	Connaissance du patrimoine existant	01	Constitution d’une base de connaissance unifiée, actuelle et partagée du TelQueConçu	01	Constitution d’une base de connaissance unifiée, actuelle et partagée du TelQueConstruit	01	Documentation du TelQueRéceptionné	01	Constitution d’une base de connaissance unifiée, actuelle et partagée du TelQueMaintenu	01	Structuration des données
02	Instruction et approbation du projet	02	Développement concourant des études multi-métiers (AVP/PRO/EXE/Méthodes)	02	Suivi (MOA) de l’avancement et de la qualité de la réalisation	02	Opérations préalables à la réception	02	Optimisation des processus de l’exploitant et du mainteneur	02	Modélisation
03	Concertation et acceptabilité du projet	03	Prise en compte des exigences de l’exploitant et du mainteneur	03	Développement et validation des dispositions constructives	03	Production des livrables et pièces graphiques	03	Alimentation de la BD Patrimoine et des processus GMAO	03	Validation des données
04	Elaboration du dossier de consultation MOE	04	Gestion de la temporalité du projet (séquençage, ouvrages temporaires)	04	Gestion du séquençage des opérations	04	Récolement du TelQueConstruit	04	Formation et Immersion	04	Gestion des incohérences et des interférences
		05	Synthèse générale, analyse et suivi des interfaces	05	Gestion du séquençage de la préfabrication	05	Alimentation DOE-DIUO			05	Génération des plans
		06	Production des métrés et des quantitatif	06	Production des plans BPE					06	Planification 4D
		07	Maîtrise des coûts	07	Alimentation consignes de guidage des engins					07	Revue à l’aide du BIM
		08	Alimentation des outils de simulation	08	Préparation chantier & maîtrise du risque en réalisation						
		09	Revue de satisfaction des exigences de performance de l’ouvrage	09	Logistique (hors site / sur site)						
		10	Revue de satisfaction des exigences réglementaires de l’ouvrage	10	Contrôle Externe / Contrôle Extérieur						
		11	Revue de développement du projet (délai / coûts / moyens)	11	Accessibilité et Ergonomie du poste de travail						
		12	Revue des études techniques								
		13	Revue des études de phasage								
		14	Gestion de configuration des variantes								
		15	Gestion des Ordres de Modification (Change Order)								
		16	Contrôle Externe / Contrôle Extérieur								
		17	Consolidation (MOA) de la définition des travaux à réaliser (pré-DCE)								
		18	Elaboration dossier de consultation des entreprises								

Fig.1 : Liste des objectifs métiers et des usages BIM (MINnD S1 – Livrable 025 Guide d’application du BIM Infra)

Correspondances usages et missions	Objectifs et usages BIM	Missions
	PRG programmation	La fixation des besoins opérationnels par le maître d’ouvrage et donc hors préalable à toutes les autres missions
	ETU conception toutes phases	PRO et EXE
	TVX réalisation des travaux	REA
	LIV livraison de l’ouvrage	Réception – DOE – DIUO
	GEM exploitation maintenance	DOE – DIUO

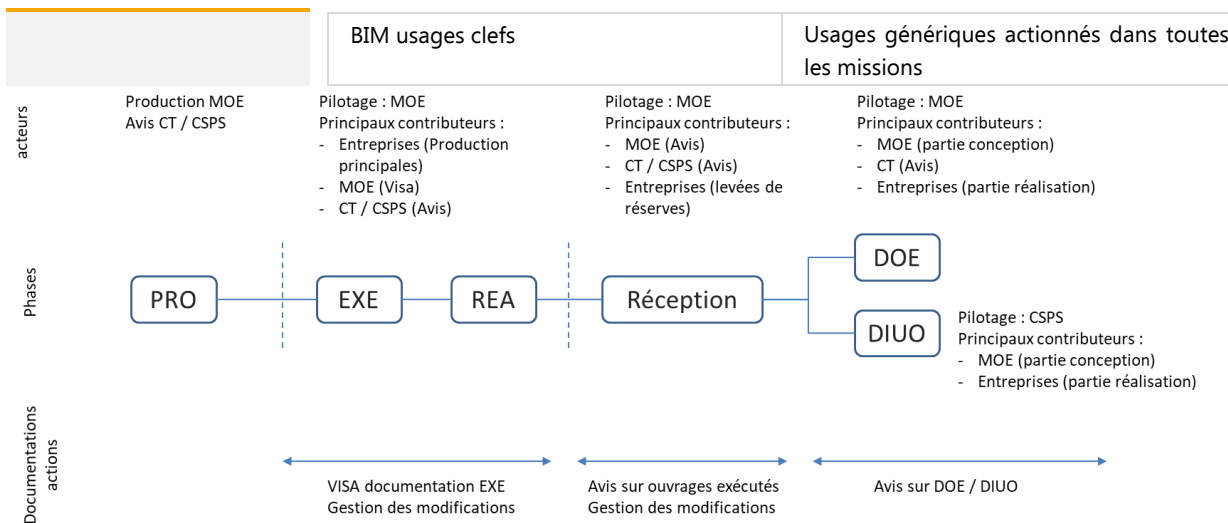


Fig.2 : Synthèse des principales phases, principaux acteurs et actions attendues en Phase d'Exécution / Réalisation des travaux jusqu'à la Réception

### Objectifs liés aux contrôles / Visa

En phase travaux, l'entreprise met en place un plan d'assurance qualité qui détaille toutes ses propres opérations d'autocontrôle et qui organise la production d'informations vis-à-vis des autres intervenants en charge du contrôle technique comme le Maître d'œuvre ou le Contrôleur technique dans le cadre des missions qui leur ont été confiées par le Maître d'ouvrage.

Ces contrôles doivent être complètement renseignés quant à leurs conditions et résultats, ainsi qu'aux mesures réalisées pour pallier les défauts constatés de façon acceptable.

Au cours des opérations préalables à la réception, il importera de pouvoir vérifier que toutes ces informations ont été prises en comptes et que toutes les imperfections ont été levées.

### Découpages opérationnel, fonctionnel et organique

La structuration des données et informations d'un projet d'infrastructure doit idéalement permettre de les situer au sein d'une description de l'infrastructure selon les trois perspectives principales suivantes :

- La perspective opérationnelle qui est celle de l'exploitant opérant et maintenant ou faisant maintenir l'infrastructure ; cette perspective doit être introduite par le Maître d'ouvrage en l'absence d'un exploitant désigné ;
- La perspective fonctionnelle qui est une vision abstraite, résultant des travaux de conception du MOE, de la façon dont l'infrastructure rend les services ou fonctions nécessaires à la satisfaction des besoins opérationnels de l'exploitant ou du Maître d'ouvrage ;
- La perspective organique qui est la réalité des objets et composants physiques réalisés lors des travaux de construction.

Les dimensions proprement spatiales de ces perspectives sont très prégnantes au niveau de la perspective opérationnelle, en particulier pour des infrastructures très étendues, et de la perspective organique puisque tout objet ou composant réel a une localisation géographique précise lui permettant d'interagir avec les autres composants et objets de façon fonctionnelle.

**Exigences / Performances**

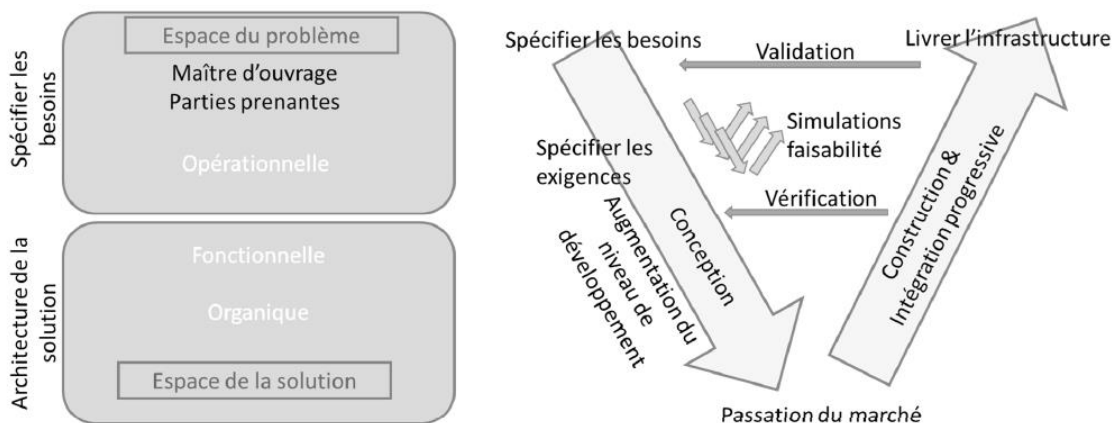
En réservant l'usage du mot système à l'infrastructure dans son ensemble, les trois perspectives ci-avant se trouvent détaillées par des découpages en sous-systèmes, objets et composants auxquels sont attachées des exigences précisant les performances et caractéristiques auxquels ils doivent répondre.

- Les exigences opérationnelles sont celles exprimées essentiellement par le Maître d'ouvrage (ou l'exploitant) pour avoir la capacité d'opérer et de maintenir en condition opérationnelle – de son propre point de vue exprimé sans référence aux solutions choisies par le MOE et mises en œuvre par l'Entreprise – l'infrastructure. Elles incluent les exigences de type réglementaire.
- Les exigences fonctionnelles et organiques sont celles explicitées par le MOE d'abord, puis par l'Entreprise sous le contrôle du MOE décrivant ce qui est attendu de l'infrastructure en termes de fonctionnalités et de composant physiques. La cohérence de l'ensemble est la responsabilité de l'acteur en charge de l'intégration selon les conditions contractuelles mises au point par le Maître d'ouvrage.

Un cycle de projet est généralement décrit sous la forme d'un V (Fig.3).

- La branche gauche descendante du V est celle de la phase de conception, conception prenant en compte les exigences des phases de travaux proprement dites.
- La branche droite ascendante du V est celle de la phase des travaux et des intégrations successives des divers ouvrages et composants dans une infrastructure qui est, pointe en haut à droite, finalement livrée et réceptionnée. Les ouvrages sont progressivement construits et intégrés les uns aux autres. Les contrôles effectués dans cette phase permettent de vérifier que les ouvrages construits sont conformes aux exigences développées durant la phase descendante du V.

D'une certaine façon, on peut dire qu'il y a, non pas une seule boucle de validation et un seul cycle en V mais de multiples mini-cycles en V dont l'agrégation aboutit à la validation d'ensemble.



**Validation:** Validation de l'ensemble de l'infrastructure au travers de tests opérationnels

→ Satisfaction des besoins

**Vérification:** Vérification des composants de l'infrastructure au travers de tests fonctionnels et organiques

→ Satisfaction des exigences

Fig.3 : Cycle en V

### Reconnaitances avant les travaux

La connaissance de l'environnement physique (géologique, géotechnique, hydrogéologique, hydrologique, climatique, environnemental et anthropique...) est un enjeu fondamental en infrastructures de façon à en maîtriser les risques associés pour la performance de l'infrastructure et pour la réalisation du projet. Cette connaissance ne peut être qu'imparfaite vu l'incertitude inhérente aux événements et à la très grande variabilité des faciès géologiques et géotechniques pour ne citer que ceux-là.

La complétude et la fiabilité de ces informations et de leurs métadonnées sont absolument essentielles au succès de tout projet d'infrastructure. Elles appartiennent aux données de type opérationnelles puisque descriptives de l'ensemble des contraintes qui s'imposent au projet. Elles sont produites principalement durant la phase de conception mais des compléments peuvent être décidés durant la phase des travaux.

### Contrôles pendant les travaux

L'objectif des contrôles durant travaux est de garantir que l'exécution est en tout point conforme à la définition nominale des ouvrages par le MOE.

Toutes ces opérations sont des opérations de contrôles de divers types :

- Des contrôles de type géométriques, dimensionnels ou visuels effectués lors de jalons de tâches importants comme préparation d'une fouille, coffrage, ferrailage, coulage, cure, remblaiement, compaction... pour les travaux de gros œuvre ou d'autres pour des travaux avec d'autres matériaux ;
- Des contrôles de laboratoires ou faisant appel à des technologies destructives ou non comme les radiographies de soudure ou les essais sur éprouvettes à 28 jours, ou encore divers essais électriques d'isolation ou de mise à la terre ;
- Des contrôles de présence ou de qualité des divers équipements avec les certificats d'usine ;
- Divers contrôles réglementaires liés à l'environnement ou aux lois sur l'air ou sur l'eau (bruit, pollutions de l'air, des nappes, des rejets d'eaux et coulis, ...).

Tous ces contrôles donnent lieu à des documents de plus en plus souvent numérisés avec leurs propres circuits de validation informatisés ou non. Les bases de données ainsi constituées doivent pouvoir être reliées aux bases de données BIM et, dans toute la mesure du possible, référencées dans les métadonnées attachées aux divers objets des maquettes BIM.

### Contrôles après les travaux

Parmi tous les contrôles à opérer au plus tard lors des opérations préalables à la réception figurent des essais et contrôles de l'infrastructure en fonctionnement ou lors d'épreuves en conditions plus sévères que les conditions de services. La vérification de la complétude et de la solution satisfaisante apportée aux résultats des contrôles durant travaux est le préalable à nécessaire à ces nouveaux contrôles des OPR. Plus précisément, il peut s'agir :

- D'essais, encore qualifiés d'« épreuves » dans des conditions de chargement (mécanique ou électrique par exemple) au-delà des conditions de services (passage de convois lourds sur des ponts, essais hydrauliques à des pressions d'1 fois 1/2 la pression nominale de service et essais d'étanchéité associés), essais de « claquage des câbles », etc.
- D'essais simples de fonctionnement des équipements pour vérifier que les branchements sont faits correctement et que les fonctionnements sont qualitativement ceux escomptés,
- D'essais de performance sur des périodes longues aux taux nominaux de service sans défaillance.

## 3.2 Rappel du processus « classique » de VISA des documents d'exécution

### Définition de la mission « VISA »

La définition réglementaire de la mission VISA est rappelée dans la 1<sup>ère</sup> partie du présent livrable « Réception des projets en BIM – Vocabulaire et Définitions ».

### Organisation du VISA et ses critères

L'examen de la conformité des documents d'exécution établis par les entreprises, ainsi que leur visa par le Maître d'œuvre, ont pour objet d'assurer au Maître d'Ouvrage que les documents remis par l'Entrepreneur respectent les dispositions des marchés de travaux, sont conformes aux dits marchés et ne comportent ni erreur, ni omission, ni contradiction décelable par un homme de l'art.

Les modalités exposées ci-après s'appliquent pour tous les travaux projetés.

Les procédures de contrôle et de gestion des documents d'études auront été préalablement définies au titre du Plan d'Assurance Qualité et incluses dans le Dossier de Consultation des Entreprises, puis définitivement fixées au cours de la mise au point du marché.

La qualité du contrôle des études réalisées au titre des marchés de travaux repose sur la satisfaction des critères suivants :

- **Critère de délais** : Les délais alloués au Maître d'œuvre pour le contrôle des documents sont tenus. De cette façon, le Maître d'Ouvrage n'est pas mis en défaut vis-à-vis des clauses contractuelles du marché de travaux,
- **Critère de conformité** : Le projet d'exécution, les dispositions d'installation et de montage, sont conformes au marché, aux règlements et normes en vigueur, aux règles de l'art, tant en matière de construction que de conditions d'exploitation (hygiène et sécurité, conduite, accessibilité, maintenance),
- **Critères de qualité** : Chaque spécification de matériel doit être validée en parfaite connaissance des conditions de service et de la qualité attendue, qui résultent de l'expérience des fournisseurs, des matériaux utilisés, du milieu ambiant, des conditions de fonctionnement, le cas échéant, de l'entretien et la maintenance envisagée,
- **Critère de cohérence** : Chaque document concernant un ouvrage ou un équipement doit être validé en cohérence avec les documents antérieurs et avec ceux relatifs aux installations amont ou aval existantes ou en projet.

### Modalités d'examen et de VISA des documents d'Exécution, leurs circuits et processus

L'examen des plans et des autres documents d'étude d'exécution permet de renseigner les fiches VISAS qui leur sont attachées.

Les documents sont transmis via un bordereau d'envoi dont la forme respectera un modèle prédéfini, ou par message géré par une plateforme collaborative mise en place au démarrage du / des marchés de travaux.

Le circuit de diffusion et d'examen sera conforme au schéma ci-dessous fixé contractuellement dans les marchés de travaux, avec :

- Émission du document par l'Entrepreneur (PRE) ;
- Transmission des avis du contrôleur technique, du coordonnateur SPS et du délégué au Maître d'Ouvrage, à l'Entrepreneur, et pour information au maître d'œuvre ;
- Transmissions des fiches Visa (ou Fiche d'observation « FOB ») du VISA du Maître d'œuvre à l'Entrepreneur ;
- Si toutes les fiches Visa (ou FOB) sont au statut d'examen VSO ou VAO, le document d'étude est diffusé au Bureau d'étude d'Exécution ou au chantier au statut BEE ou BPE.

**Circuit de diffusion et d'examen**

**Les rôles et responsabilités des divers acteurs sont à préciser**

**Les statuts d'examen pour qualifier la nature et le résultat de l'examen**

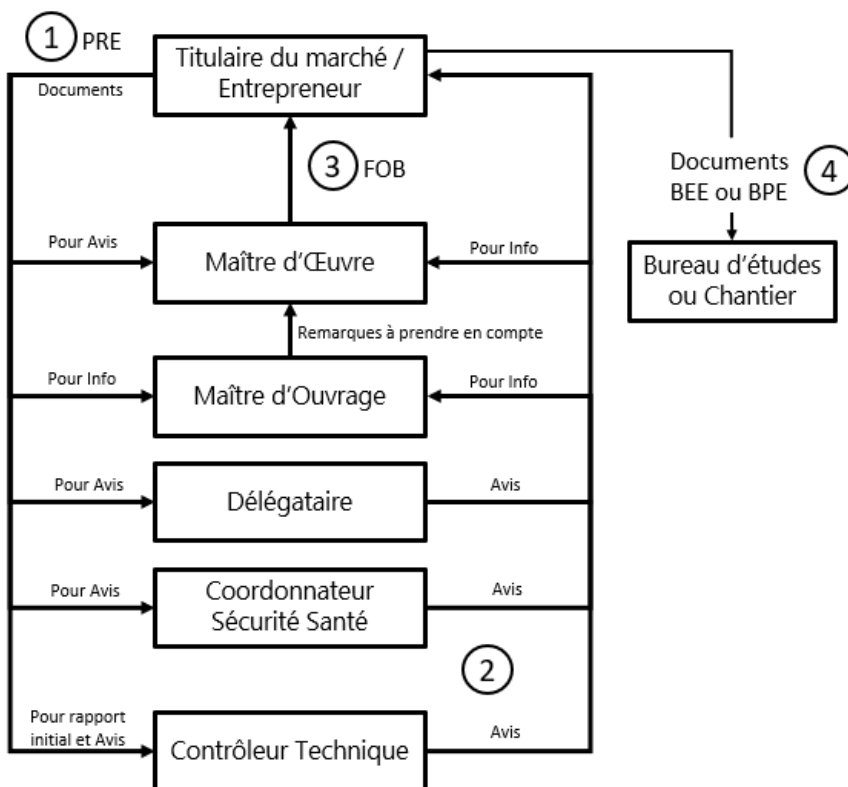


Fig.4: Circuit de diffusion et d'examen des documents d'étude et d'exécution

L'entreprise en charge des travaux devra donc diffuser les documents produits vers la maîtrise d'œuvre (pour avis et Visa), le Contrôleur Technique (CT) (pour avis), le Coordonnateur Sécurité et Protection de la Santé (CSPS) (pour avis), le Délégué (pour avis ou pour information) et le MOA (pour information).

Tout document produit par les entreprises et destiné à une émission contractuelle fait, avant diffusion, l'objet d'une vérification par la (ou les) entreprise(s) titulaire(s) du marché qui :

- Signe(nt) ledit document,
- Attribue(nt) un statut d'émission, suivant la procédure de contrôle et approbation préalablement établie,
- Désigne(nt) les destinataires du document, suivant le type de document et la procédure de circulation préalablement établie.

Tous les documents seront envoyés à la maîtrise d'œuvre.

Une grille de répartition des documents est établie, permettant de savoir qui est destinataire des documents au sein de la Maîtrise d'œuvre, du CT, et du CSPS.

En interne à la maîtrise d'œuvre, les documents reçus seront distribués pour examen en fonction des types de documents et des spécialités (métiers) concernés.

Pour chaque document analysé, les différents acteurs sollicités (la maîtrise d'œuvre, le CSPS, le Contrôleur Technique (CT), Délégué), consignent leurs remarques sur leur fiche Visa (ou Fiche d'observation « FOB »), ceci dans un délai fixé contractuellement.

**Les statuts d'examen** sont attribués par les examinateurs sur des fiches d'observation (FOB ou fiche Visa).

Chaque document visé se verra attribué un statut reprenant généralement la classification suivante :

**Un statuts d'avancement pour qualifier le niveau de maturation du document commenté**

**VSO : *Vé*réfié *Sans Observation*** : le document est émis au stade opérationnel BEE ou BPE avec changement d'indice de révision ;

**VAO : *Vé*réfié *Avec Observations*** : le document fait l'objet d'observations mineures. Il doit être modifié et être émis au stade opérationnel BEE ou BPE ;

**VAOB : *Visa Avec Observations Bloquantes*** (peut être rencontré avec l'appellation VAR : *Vé*réfié *A Resoumettre*) : le document fait l'objet d'observations bloquantes. Il doit être modifié et être soumis à nouveau pour examen (changement d'indice et réémission pour avis).

**REF : *Visa REFusé*** : le document est refusé dans sa totalité. Il doit être entièrement repris et resoumis.

Le document et sa fiche d'observation sont ensuite adressés à l'entreprise émettrice, qui après avoir apporté les modifications, effectue un nouvel envoi à l'indice n + 1, tant que le document ne reçoit pas de statut VSO ou VAO. Les fiches Visa sont généralement déposées sur une GED (lorsque celle-ci est prévue).

Bien entendu, c'est au cours de cette phase de la mission que seront gérées les demandes de modification émises par les différents intervenants, sous forme de fiches de Demandes de Modifications (DM), ainsi que les non-conformités constatées.

Les observations sont présentées sous forme de remarques numérotées, précises et exhaustives, lesquelles seront placées sur la GED, accompagnées d'un exemplaire annoté (scanné) document.

Une liste des documents visés (base de données sur EXCEL) est généralement établie. Cette liste est complétée au fur et à mesure du déroulement des études d'exécution et durant le chantier (VISAS EXE). Les documents visés sont classés par nature afin d'être facilement identifiables (Plans / notes de calculs / procédures d'exécutions...). La liste est tenue à jour par l'ajout d'un indice et du titre succinct des observations faites au fur et à mesure du déroulement de la procédure de contrôle et d'approbation.

Elle indiquera également la date de transmission du dossier d'exécution, la date de réception du dossier, la date de la transmission des observations et la date du visa par la maîtrise d'œuvre. Cette liste complète est remise en fin d'opération et à tout moment en cours de chantier à la demande de la maîtrise d'ouvrage.

À réception d'un document revêtu du statut d'examen « VSO » ou « VAO » du Maître d'Œuvre et du statut d'avancement « Bon pour Études d'Exécution » ou « Bon pour Exécution », ainsi que la date d'apposition du statut, il faut envoyer un exemplaire du nouveau document au MOE, au CSPS et au CT.

Les **statuts d'avancement** sont les suivants :

- **PRE (*Document PREliminaire*)**: documents transmis avec un statut d'avancement PREliminaire jusqu'à ce que tous les circuits de validation aient obtenu un statut d'examen VSO ou VAO pour ce document ;
- **BEE (*Bon pour Études d'Exécution*)**: documents techniques intermédiaires d'études, plans, notes de calculs ou données tels que spécifications, schémas... Tous documents exclusivement destinés à la création d'autres documents d'études ou d'exécution.
- **BPE (*Bon Pour Exécution*)**: documents directement utilisables pour l'exécution de travaux, fabrication, montage, pour la réalisation de contrôles, d'essais ou de tests, et documents n'entrant pas dans la définition du statut BEE.
- **DOE (*Dossier des Ouvrages Exécutés*)**: documents conformes à l'exécution.
- **ANN (*Document ANNulé*)**: documents annulés.



Un document est considéré comme « **Bon Pour Exécution** » ou « **Bon pour Études d'Exécution** » à la condition qu'il soit validé par tous les intervenants précités.

La mention « **Bon pour Études d'Exécution** » est un préalable indispensable pour la réalisation des études d'exécution.

La mention « **Bon Pour Exécution** » est un préalable indispensable à la commande de fournitures et matériels, à la livraison sur chantier et au démarrage des travaux, qui est subordonné par ailleurs aux autres exigences définies dans les CCAP des marchés de travaux.

### 3.3 Préconisations pour un processus VISA en BIM

#### Documents de référence

Les livrables de MINnD saison 1 doivent être consultés, avec notamment :

- MINnD\_TH01\_UC00\_02-Guide\_Application\_BIM\_Infra\_025\_2019
- MINnD\_TH04\_000\_Glossaire\_000\_2019

On se référera utilement à ce dernier livrable pour la définition des documents suivants :

- Charte BIM,
- Cahier des charges BIM
- Convention BIM
- Plan d'Exécution BIM (BEP)

#### Cadre pour un processus VISA en BIM

Afin de mettre en application en BIM le processus VISA décrit dans le chapitre précédent, il est nécessaire d'établir un cadre clair sur le déroulement des opérations en lien avec le VISA des maquettes numériques.

Ce cadre est défini dans la convention BIM de la phase EXE, qui est un document établi par le BIM Manager de la maîtrise d'œuvre dans le cadre de la consultation des entreprises travaux, annexé au DCE pendant la consultation, et mis à jour après la notification des entreprises travaux.

Ce document indique les exigences du MOE pour l'application d'une démarche BIM en phase EXE (Convention BIM du projet), sur la base de celles du MOA décrites auparavant dans le cahier des charges BIM. Les entreprises travaux quant à elles mettent en place un plan de mise en œuvre BIM du projet, qui est leur réponse technique et organisationnelle au sein de leur marché et dans leur périmètre d'action.

L'objectif de ce chapitre est de donner des recommandations sur la rédaction du plan de mise en œuvre BIM du projet, afin de permettre la mise en place du processus VISA en BIM.

Ces éléments ne constituent pas un guide complet de rédaction du plan de mise en œuvre BIM du projet, mais uniquement des préconisations de rédaction pour pouvoir mettre en application le processus VISA en BIM

Les informations ci-après sont établies pour des projets avec une maîtrise d'œuvre classique et des entreprises travaux séparées. Les cas particuliers tels que la conception réalisation, la conception réalisation exploitation-maintenance, ou d'autres types de montages de marché pourront mettre en place des adaptations afin de coller au mieux à leur marché.

Ces recommandations sont décrites comme suit :



### Usages BIM attendus à définir précisément

### Rôles et responsabilités des intervenants sont à définir pour toutes les phases d'un projet

### Rôles côté MOE : distinguer les fonctions strictement relevant de connaissances informatiques et les fonctions relevant des connaissances métier de l'acte de construire

### Rôle côté Entreprise d'Exécution : là aussi distinguer fonctions informatiques et métiers

Les usages BIM, qui décrivent les méthodes d'application de la démarche BIM afin de répondre à un ou plusieurs objectifs BIM du MOA, doivent clairement être définis d'une manière exhaustive et détaillés.

Ces usages doivent permettre de définir la manière avec laquelle les maquettes numériques seront modélisées, le découpage des objets, les métadonnées qui y seront affectées, ainsi que les livrables qui leur sont rattachés (extraits ou liés). Ces éléments permettront d'avoir une vision globale sur le contenu des maquettes numériques, et par la même occasion de mieux cadrer le processus des VISAs en BIM.

La définition des rôles et responsabilités dans la convention BIM doit être faite en lien avec la taille et la complexité du projet, ainsi que les différentes disciplines impliquées, le tout dans un souci de cohérence globale.

Cette définition des rôles et responsabilités relève d'une importance majeure dans l'organisation en lien avec la production des maquettes numériques mais également du VISA en BIM. En effet, chaque acteur doit être identifié avec tous ses rôles pour permettre une vision claire sur les personnes en charge de la production des maquettes numériques, des VISAs selon les périmètres, et du pilotage de la démarche BIM ainsi que le cadrage des processus associés.

Il est donc nécessaire d'indiquer les rôles suivants :

- **Fonction BIM :**

- **BIM Manager MOE :** Fait partie de la maîtrise d'œuvre, dont la présence est indispensable. Il est l'interlocuteur principal chez la maîtrise d'œuvre pour les sujets relatifs au BIM. Il est chargé de la rédaction de la convention BIM du projet et est garant du bon déroulement de la démarche BIM, met en place les processus associés et contrôle leur application par les différents intervenants. En outre, il a la charge de vérifier le bon déroulement des VISAs des maquettes numériques réalisés par le BIM Coordinateurs MOE.
- **BIM Coordinateur MOE :** Rattachés directement au BIM Manager, les BIM coordinateurs réalisent les VISA en BIM sur les maquettes numériques intégrés dans leur périmètre. Ils sont les interlocuteurs privilégiés des entreprises travaux et du BIM Manager entreprise sur les sujets en lien avec les spécificités des maquettes numériques produites dans leur périmètre.

#### Visa des Maquettes numériques

Le VISA des maquettes numériques est réalisé par le BIM Coordinateur MOE selon son périmètre, et validé par le BIM Manager MOE.

La convention BIM doit définir la méthode de réalisation du VISA sur les maquettes numériques, ainsi que les contrôles qui seront établis dans le cadre de ce VISA.

- **Fonction Technique :**

- **Responsable des Visas du MOE :** Est responsable de l'équipe en charge de la réalisation des VISAs sur les documents d'exécution des entreprises. Le responsable VISA est en étroite collaboration avec le BIM coordinateur MOE de son périmètre, afin d'échanger sur les sujets en lien avec la maquette numérique ou les documents d'exécution qui y sont rattachés.

- **Fonction BIM :**

- **BIM Manager EXE (Entreprise) :** Fait partie d'une entreprise travaux ou d'un groupement d'entreprises travaux, sa présence est également indispensable car il est l'interlocuteur principal chez l'entreprise ou le groupement d'entreprises pour les sujets en lien avec la modélisation et le contrôle des maquettes numérique dans leur périmètre d'action. Il a la charge de la rédaction

**Planification de production des maquettes numériques**

**Spécifications et organisation des maquettes numériques**

**Principes de Structuration des données des bases de données**

du plan d'exécution du BIM et de mettre en application les processus spécifiques à la modélisation BIM et aux différents contrôles et vérifications.

- **Fonction Technique :**
  - Directeur Technique (Responsable des études d'exécution): Fait partie d'une entreprise travaux ou d'un groupement d'entreprises travaux, est responsable du bureau d'études d'exécution dans un périmètre défini, il travaille directement avec le BIM Manager entreprise pour définir les modalités de production des documents d'exécution sur la base de maquettes numériques.

La planification prévisionnelle des travaux doit apparaître clairement dans le plan de mise en œuvre BIM du projet, en intégrant si besoin les différents jalons.

Le planning de production des maquettes numérique doit être produit par les entreprises travaux, et doit être relié directement au planning prévisionnel des études d'exécution. Ce planning doit être fait en assurant une cohérence entre la production des documents d'exécution et la maquette numérique à laquelle ils sont rattachés, et ce afin d'avoir une vision claire sur l'état de validation des maquettes numériques dans le processus de VISA en BIM.

Les maquettes numériques doivent être organisées, de telle sorte à ce que le processus VISA soit réalisé le plus efficacement possible.

Cette organisation doit prendre en compte les recommandations suivantes :

- La décomposition des maquettes numériques ne doit pas suivre uniquement une logique technique et organisationnelle de la production en lien uniquement avec les usages BIM, mais doit également permettre de réaliser un VISA complet de maquettes numériques dans le délai contractuel en lien avec la production des documents d'exécution.
- Le nommage des maquettes numériques doit être cohérent avec celui des documents d'exécution associés, et ceci afin de faciliter leur identification et de les lier facilement aux périmètres des documents d'exécution associés.
- Les métadonnées associées qui sont en lien avec certains livrables doivent avoir des dénominations cohérentes avec ces dernières.
- Les unités choisies dans les maquettes numériques seront les mêmes que celles des documents d'exécution associés.

La structuration des données est l'un des enjeux majeurs pour la validation des maquettes. Cette structuration dépend de quelques facteurs que nous abordons dans cette section.

- Notion de bases de données

Les outils d'édition de maquettes numériques sont des bases de données adossées à des classes d'objet spécifiques. Comme dans toute base de données, il est possible suivant la liberté accordée par chaque logiciel, de la structurer, de la consolider, de la filtrer et de la trier.

À l'instar des bases de données, les entités réelles sont structurées par tables :

Classe d'objet		
Propriétés	Types de donnée	Attributs

- Classe d'objet

La classe d'objet permet à chaque logiciel de définir un objet physique dans un modèle numérique. Ces classes d'objet sont immuables ou à défaut générique. La classe IfcSlab représente par exemple une dalle.

**Lister les livrables attendus**

**Établir des protocoles de collaboration et utiliser des outils adaptés de plateformes collaboratives**

Les classes d'objet IFC 4.3 spécifiques aux infrastructures, ponts, ferroviaires, portuaires, routières, terrassements et géotechniques ont été validées fin 2021. Elles sont implémentées peu à peu par les éditeurs de logiciels.

- Propriétés et attributs- Dictionnaire de données

Les propriétés et leurs attributs sont adossés aux classes d'objet. De la même manière que les classes d'objet sont spécifiques aux formats, les propriétés et leurs attributs le sont aussi.

L'organisation des propriétés et de leurs attributs est un enjeu majeur car il est malheureusement possible de décrire plusieurs fois la même chose avec des propriétés et attributs différents, voire qu'un élément soit en contradiction avec un autre. L'exemple classique reste la différence constatée entre les propriétés de l'objet renseigné en cours d'étude et l'objet fabricant.

- Dictionnaire de propriétés

La définition d'un langage commun au projet décrivant le nom des propriétés, le type de donnée ainsi que les attributs attendus fait l'objet de travaux en cours – bSDD (buildingSMART Data Dictionary) - au sein de bSI.

- Format du fichier.

Quel que soit le format du fichier utilisé, la donnée est structurée en partie de manière rigide, il s'agit de l'héritage du format, et en partie de manière souple, il s'agit de la capacité de ce format à contenir de l'information.

La partie rigide de la structuration concerne notamment les classes d'objet et les propriétés normalisées. Les attributs associés aux propriétés peuvent être également imposés par le format ou non.

Ces formats de fichiers permettent également d'accueillir des propriétés non normalisées, toujours adossées à des classes d'objet.

Même si chaque logiciel suit un principe de base de données, la structuration de cette dernière dépend de son format. Ainsi une même propriété provenant d'un fichier source ou de son export IFC ne sera pas organisée de la même manière.

Cette information est importante pour l'automatisation des processus de vérification des modèles dont la structure doit être rigoureusement identique afin de fonctionner.

La liste des livrables, associés aux maquettes numériques, doit être produite d'une manière exhaustive dans le plan d'exécution du BIM. Cette liste doit permettre de rattacher chaque maquette numérique à son livrable associé.

L'exigence fondamentale pour produire des informations dans un Environnement de Données Commun (CDE pour Common Data Environment) est d'avoir un protocole de partage des informations qui permette de faire confiance à l'information dans son contenu et son origine. Pour cela, il est nécessaire d'avoir un processus structuré et contrôlable.

Le CDE est un moyen de permettre à des informations d'être partagées de manière efficace et précise entre tous les membres de l'équipe de projet - qu'il s'agisse d'informations 2D ou 3D, textuelle ou numérique. Le CDE permet aux équipes multidisciplinaires de collaborer dans un environnement géré, qui autorise l'accumulation et le développement de l'information pendant la conception, la fabrication et la construction.

Le CDE garantit également que des informations sûres sont générées une seule fois et peuvent ensuite être réutilisées comme nécessaire par tous les acteurs. Il s'assure également que les informations sûres sont constamment mises à jour et enrichies pour la livraison finale.

**Préparation des points  
de vue graphiques  
d'examen de la  
maquette**

La vérification et la **validation visuelle** est l'un des piliers du processus de contrôle des maquettes. Des points de vue bien organisés et lisibles sont l'assurance d'une **compréhension partagée** par les acteurs du projet et un gain de temps notable.

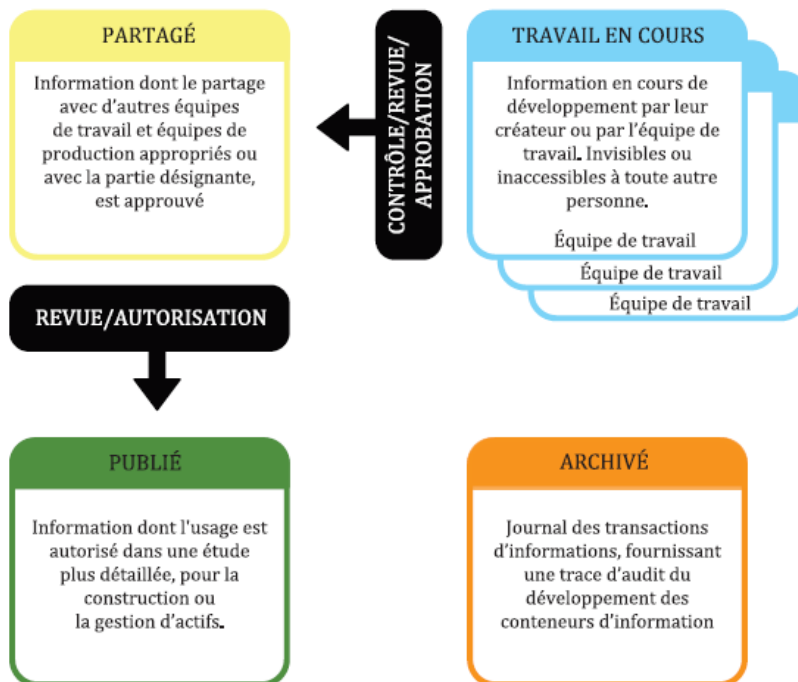
Nous décrivons dans cette section différentes organisations complémentaires et qui peuvent être associées ensemble.

- Points de vue généraux : Ces points de vue permettent de comprendre la structuration générale des modèles et de se situer dans un ensemble plus large. Ces points de vue, en adoptant des couleurs, peuvent faire ressortir les métiers/émetteurs constitutifs d'un projet ou encore différents projets à coordonner.
- Points de vue par métier : Ces points de vue permettent de mettre en exergue les contrôles effectués ainsi que les incohérences pour un même métier. Ils permettent la mise en place de contrôle des exigences point par point, la validation du contrôle des éléments en doublon, ou encore une détection de collisions effectuée entre un réseau et lui-même en vérification d'une présynthese/synthese. Il s'agit du premier niveau de vérification possible et donc de mise en qualité du projet.
- Point de vue Coordination projet et interfaces externes : Ces points de vue permettent de coordonner les métiers au sein d'un projet et les projets entre eux par une étude fine des interfaces. Ces vues sont également utiles pour la vérification d'exigences projet ou réglementaires. La coordination à l'œil est un outil très efficace et qui permet de résoudre un grand nombre de sujets. En ce sens, elle n'est pas à sous-estimer d'autant plus que son principe reste simple pour un bénéfice rapide.
- Points de vue suivant une matrice de collision : Ces points de vue sont organisés suivant le principe d'une matrice de collision à savoir un binôme de sélections que l'on teste pour les besoins de coordination où de synthèse d'un projet. Ces sélections sont organisées suivant un ordre d'importance afin de solutionner d'abord les métiers les plus contraignants.

**Préparation des  
sélections**

Une validation de maquette nécessite, si l'outil le permet, de préparer des sélections prédéfinies. Ces sélections doivent se faire sur la base de l'information contenue dans les modèles au risque d'être faussées avec la mise à jour des modèles.

**Flux des informations au cours d'un projet**



**Fig.5 : Concepts du CDE (Environnement de Données Commun) de la norme ISO 19650**

**Accès par une plateforme collaborative**

**Gestion électronique des documents de la phase réalisation**

**Gestion électronique des fichiers de maquettes numériques des entreprises**

**Outils de navigation au sein des modèles**

**Fonctionnalités attendues des outils de navigation**

L'accès aux données ainsi que la transmission et la diffusion de celles-ci, la validation des différents livrables se fera intégralement via une plateforme collaborative, disposant des espaces suivants :

Cet espace GED est dédié intégralement au dépôt et Visas des documents d'exécution, ainsi que tous les documents en lien avec les travaux ou la gestion contractuelle. Dans cet espace des emplacements dédiés aux documents d'exécution doivent être bien identifiés, avec des métadonnées d'identification, de dates de dépôts, de statut de VISA, etc.

Cet espace est dédié au dépôt et Visas des maquettes numériques, qui doivent également être bien identifiés, avec des métadonnées d'identification, de dates de dépôts, de statut de VISA, etc.

Dans cet espace les métadonnées en lien avec le statut de VISA doit suivre les prescriptions de la norme ISO 19650 concernant l'état des maquettes numériques. Ces deux derniers espaces sont étroitement liés (et peuvent être les mêmes), et la convention BIM doit définir comment ce lien est réalisé afin de connaître l'état de validation des maquettes numériques du point de vue du VISA.

Il faut bien sûr disposer également d'outils de navigation performants et avoir réfléchi à la nécessaire formation des intervenants.

Au travers de la visualisation des modèles, les outils de navigation doivent faciliter la compréhension des projets par tous les intervenants, permettre d'appréhender les choix techniques retenus et servir de support aux revues de projet.

Les outils de navigation au sein des modèles doivent être sélectionnés selon les fonctionnalités proposées vis-à-vis des besoins du projet et des intervenants. Les fonctionnalités attendues sont :

- Ouverture des fichiers IFC,
- Chargement / assemblage de plusieurs fichiers IFC,

<p><b>Anticiper les besoins et les ressources de formation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Affichage du contenu des modèles sous forme d'arborescence IFC,</li> <li>• Affichage des propriétés des objets,</li> <li>• Possibilité d'afficher/ masquer les composants selon leurs catégories (murs, sols, poteaux, etc.),</li> <li>• Créer des coupes au travers de plans de coupes horizontaux, verticaux ou alignés à des surfaces,</li> <li>• Naviguer à l'intérieur des modèles (visite virtuelle),</li> <li>• Créer, importer et exporter des annotations et commentaires au format BCF.</li> </ul> <p>Plusieurs outils différents peuvent être mis en œuvre pour un projet selon les préférences de chacun à condition que les points suivants soient respectés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Privilégier les formats d'échanges aux formats IFC et BCF,</li> <li>• Pas d'utilisation de fonctionnalités complémentaires faisant appel à des formats d'échanges propriétaires et qui ne seront pas compatibles d'un logiciel à l'autre (exemples : Points de vue enregistrés avec Autodesk Navisworks, Smart view avec BIM COLLAB, etc.)</li> </ul> <p>La formation aux outils de navigation doit être avoir lieu au plus tôt et dispensée au plus tard lors de la diffusion des premières maquettes.</p> <p>Même s'il existe des similitudes dans le fonctionnement et l'ergonomie des différents logiciels, il est important de s'assurer que l'ensemble des intervenants bénéficie du même niveau de connaissance des outils retenus.</p> <p>Au-delà de la prise en main de la navigation et des différentes fonctionnalités, la formation devra aborder l'interopérabilité entre les différents outils de navigation.</p>
<p><b>Associer et mobiliser les processus et documents du Contrôle qualité</b></p>	<p>Le but du processus de contrôle est de s'assurer que les équipes utilisent des pratiques conformes pour la modélisation et l'échange des maquettes et des informations du projet. C'est un processus continu réalisé par l'équipe de projet de l'entreprise travaux sous la responsabilité du BIM Manager entreprise de chaque marché.</p> <p>Il vise à ce qu'il n'y ait pas de problème non résolu ou qu'il n'y ait aucune perte d'information importante au moment du transfert de la maquette numérique au Maître d'Ouvrage.</p> <p>Le BIM Manager entreprise est responsable de la mise en application de la procédure de contrôle qualité sur les modèles de sa discipline de façon continue pendant l'avancement de la modélisation et avant le partage des modèles avec les autres intervenants.</p> <p>En outre, le BIM Manager EXE (Entreprise) doit indiquer dans le plan d'exécution BIM ce qui suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir une liste des points à contrôler par type de contrôle et par modèle,</li> <li>• Contrôler régulièrement par prélèvement de la maquette numérique,</li> <li>• Demander aux contributeurs de documenter les erreurs,</li> <li>• Demander aux contributeurs à émettre à nouveau le modèle,</li> <li>• Mettre en place un journal BIM, incluant tous les événements liés au contrôle qualité des maquettes numériques, et aux modifications réalisées,</li> <li>• Suivre la modification et les mises à jour,</li> <li>• Contrôler l'intégralité de la maquette numérique à chaque remise des livrables.</li> </ul> <p>Aucune maquette numérique ne sera envoyée pour VISA sans être passée par ces contrôles qualité. Il sera demandé en plus de la maquette numérique de fournir les fiches de contrôle et le journal BIM.</p>

### Qualification d'état de validation d'une maquette numérique

Introduire des valeurs pour agréger les informations de validation de chaque composant ou sous-système

Une maquette numérique BIM est une base de données qui contient des éléments 3D, des métadonnées et des liens entre ces éléments. La maquette numérique est associée à plusieurs livrables, qui peuvent être des plans, des nomenclatures, des quantitatifs, etc., qui ne sont pas visés dans la même temporalité.

Étant donné le lien entre la maquette numérique BIM et les livrables associés, il est clair que définir un statut de VISA de la maquette numérique n'est pas évident, étant donné qu'il peut contenir des livrables ayant le statut VSO et donc BPE, et d'autre qui ont un autre statut VAO ou qui ne sont toujours pas rentrés dans le circuit de VISA.

Dans ce cas, il est recommandé d'avoir recours à des indicateurs permettant de qualifier l'état de validation d'une maquette numérique selon le statut du VISA des documents associés.

Deux indicateurs sont proposés dans le présent document :

- **Statut du VISA des documents associés** : Affichage dans la GED du statut de VISA de tous les documents d'exécution, afin d'avoir une vision sur les éléments de la maquette numériques conformes à ce qui sera réalisé,
- **Indicateur d'état de validation d'une maquette numérique** : Un pourcentage permettant d'avoir le degré de validation de la maquette numérique en lien avec le statut de VISA des livrables associés. Ce pourcentage est une somme pondérée du nombre de document d'exécution selon leur statut de VISA divisé par la somme pondérée de tous ces documents d'exécution dans le statut de VISA VSO.

Deux valeurs sont mises en place pour établir un indicateur d'avancement :

- Indication sur la qualité de l'information en lien avec la nature des travaux : cette valeur alphanumérique est définie conjointement par les différents acteurs de la maîtrise d'œuvre et des entreprises travaux, selon les critères suivants :
  - Criticité du document d'exécution vis-à-vis des travaux.
  - Zone du document d'exécution.
  - Impact du document d'exécution sur les autres métiers.
- Proposition de coefficient de pondération, en lien avec le statut<sup>1</sup> de VISA des documents d'exécution :
  - BPE : 1
  - VSO : 0,9
  - VAO : 0,7
  - VAOB : 0,2
  - REF : 0
  - Non encore émis : 0

Afin de mettre en place ces indicateurs, il est nécessaire de préciser dans la convention BIM un paramétrage spécifique de la GED destinée à accueillir les maquettes numériques afin que chaque maquette numérique ait *a minima* les attributs suivants (en plus des attributs classiques comme le producteur, la date, l'indice, etc.) :

- Liste des livrables liés à la maquette numérique avec leur codification.
- Statut des livrables liés à la maquette numérique.
- Indicateurs de validation (pourcentage d'avancement de validation de la maquette, en fonction des statuts de validation des plans issus de cette maquette).

<sup>1</sup> Les statuts sont définis au chapitre 4.2



Ces métadonnées doivent récupérer directement les données issues de la GED des études d'exécution (ou du dossier concerné)

Voici un schéma explicatif du principe (Fig.6). L'indicateur de validation donne un pourcentage d'avancement de la validation de la maquette (somme des pondération par rapport au nombre de documents attendus).

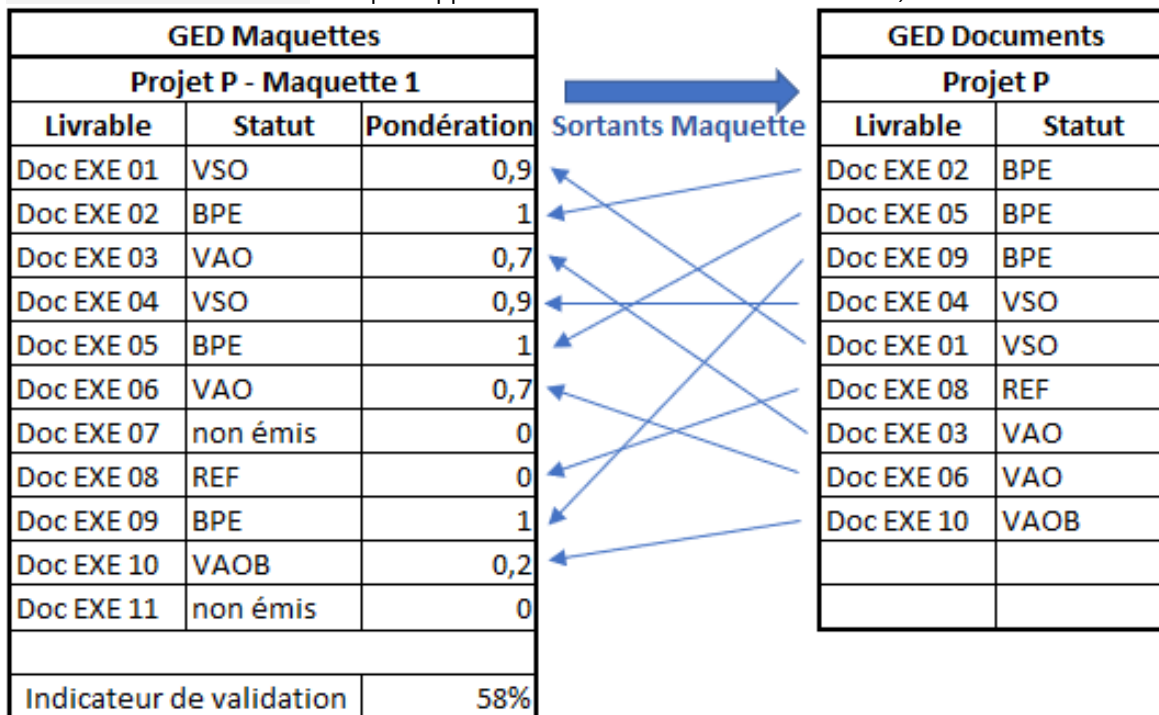


Fig.6 : Table de correspondance entre les maquettes et les documents associés et leurs statuts gérés par la GED

**Description Outils : la CAO ou conception métier, la GED pour gérer la documentation technique, le visualiseur.**

La bonne conduite du processus VISA BIM exige de mettre en place au sein du projet une infrastructure numérique qui doit permettre de répondre au cahier des charges BIM.

Outils logiciels à mettre en œuvre :

- Le premier outil numérique correspond au logiciel de conception métier dont l'objectif principal est de pouvoir modéliser le projet en 3D afin de constituer une maquette numérique.
- Le deuxième outil numérique correspond à la Gestion Électronique des Documents (GED) dont l'objectif principal est de pouvoir gérer et stocker les fichiers du projet avec des fonctionnalités avancées comme la gestion des versions de fichiers, les workflows de validation...
- Le troisième outil numérique correspond à la mise en place d'un outil de visualisation de la maquette numérique associée à une fonctionnalité collaborative. On peut aussi envisager des plateformes collaborative BIM accessibles à partir d'un navigateur web.

Pour la GED, les points de vigilance :

- Il faudra veiller à bien vérifier la compatibilité avec les systèmes d'exploitation ou règles DSI des intervenants et à s'assurer de la sécurité des données (où sont stockées les données ? dans un cloud ou non ? ...)





#### Fonctionnalités attendues

- Il faudra être capable de pouvoir gérer les droits d'accès (connexion avec login et mot de passe, accès restreint à des dossiers/ fichiers, en lecture seule ou lecture/écriture...),
- Il faudra pouvoir gérer les versions des fichiers,

Il faudra pouvoir être en mesure de gérer les statuts des fichiers pour la mise en place d'un workflow de validation.

Il est rappelé tout d'abord le lien direct entre ce sujet et le travail mené par le groupe de travail MINnD GT6-2 « Plateformes collaboratives et collaboration de plateformes » - Voir le livrable MINnDs2-GT6.2-plateformes\_collaboratives\_collaboration\_plateformes\_031\_2022.

Cet ensemble de logiciels doit ensuite pouvoir avoir les fonctionnalités suivantes :

- L'export et l'import de fichiers au format, IFC qui est le format d'échange standard pour la réalisation d'une maquette collaborative.
- L'intégration de données métiers, liées aux spécificités du projet, ainsi que de métadonnées.
- L'export ou la liaison possible avec les livrables importants aux travaux (plans / schémas / Synoptiques / Quantitatifs / etc.). Les extractions des coupes et élévations doivent pouvoir être traitées dans un plan normal à l'axe de l'ouvrage ainsi qu'en développé.
- L'export et l'import de fichiers au format BCF qui permet de gérer les commentaires émis sur le projet dans une optique de processus collaboratif.
- Le géoréférencement du projet doit être possible en début comme en cours de projet ainsi qu'à l'export.
- Model Checking : contrôle qualité relatif aux exigences BIM (Chartes, cahiers des charges, conventions, BEP, chartes de modélisation)
- Design Checking : contrôle qualité relatif aux exigences projets et réglementaires.

### 3.4 Présentation d'un processus VISA en BIM

#### Présentation globale du processus VISA en BIM (Logigramme)

Un circuit de validation d'un processus Visa en BIM a été établi et détaillé à l'aide d'un logigramme BPMN développé sous le logiciel yED Graph Editor.

**Ce logigramme est présenté dans son intégralité en Fig.7 et en Annexe 9.5.**

Ce logigramme a pour but de décrire comment l'examen et le Visa des études et des documents d'exécution peut être réalisé pour une opération menée en BIM.

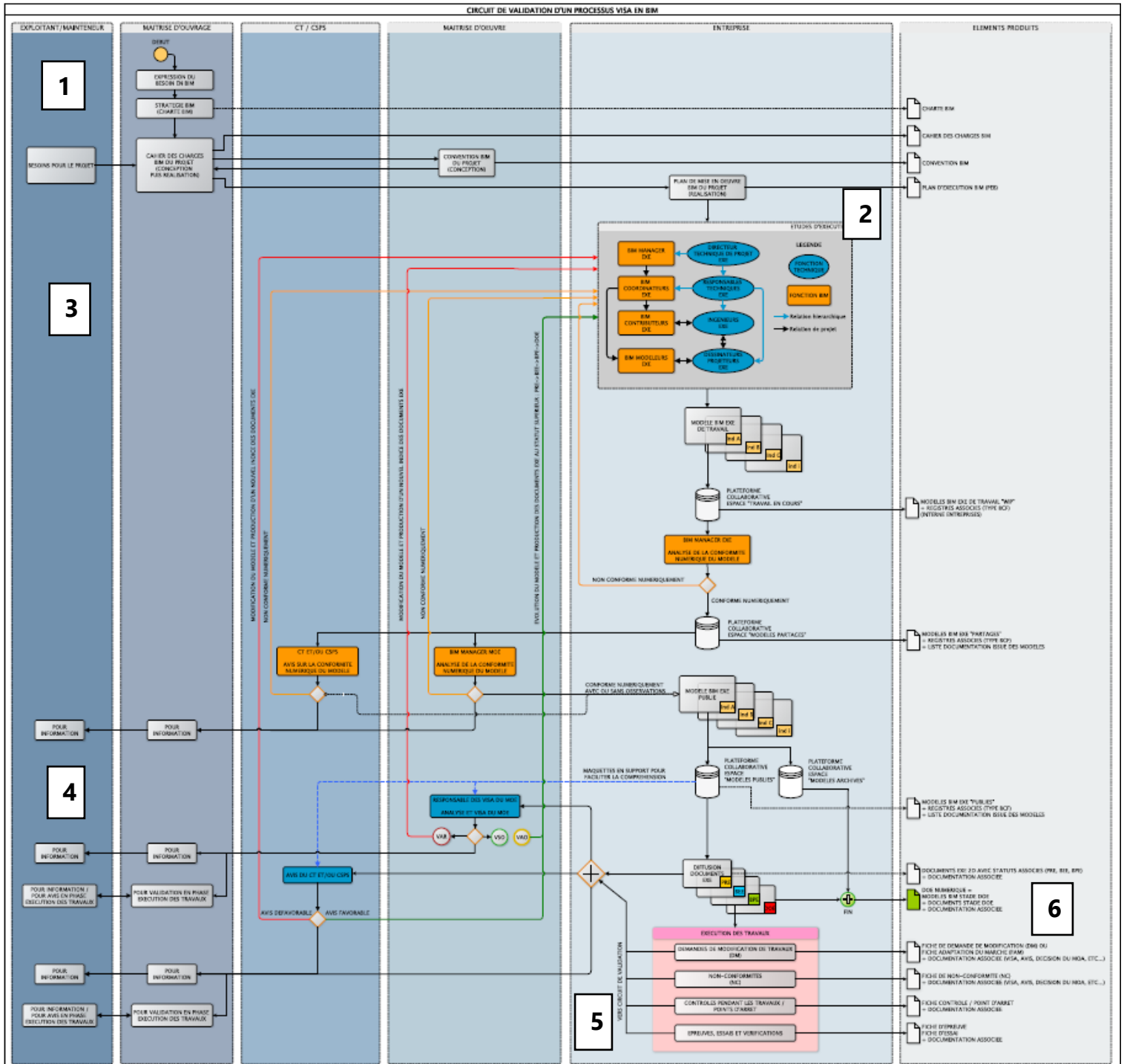


Fig. 7 : Présentation globale du processus VISA en BIM (Schéma disponible également en Annexe 9.5)

**Structuration du logigramme**

**Domaine d'application pour tous types d'infrastructures**

Ce logigramme d'un processus Visa en BIM est applicable à toute opération d'Infrastructure.

Il concerne toutes les Maquettes Numériques et les documents d'exécution diffusés par l'Entreprise pour validation du Maître d'œuvre, du contrôleur technique (CT), du Coordonnateur Sécurité et Protection de la Santé (CSPS).

**Les acteurs / Intervenants**

Ce schéma fait apparaître verticalement les intervenants suivants, à savoir :

- L'exploitant mainteneur,
- La maîtrise d'ouvrage (MOA),
- Le contrôleur technique (CT) et le Coordonnateur Sécurité et Protection de la Santé (CSPS),
- La maîtrise d'œuvre,
- L'entreprise.

Ils sont disposés de gauche à droite dans l'ordre logique de leur apparition dans un projet.

Ce placement original de l'exploitant mainteneur à l'amont des parties prenantes à l'acte de construire est conforme aux Guides et Recommandations MINnD saison 1 (cf MINnD\_TH01\_UC00\_02-Guide\_Application\_BIM\_Infra\_025\_2019 p5/69).

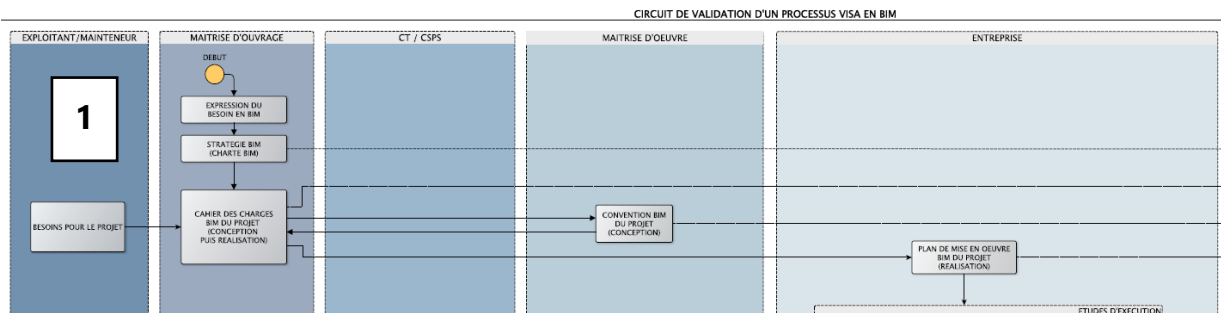
Ainsi, il n'y a pas de projet d'infrastructure sans volonté de satisfaction de besoins d'usages d'où le placement antérieur de l'exploitant mainteneur à la gauche du schéma.

Les mots au singulier sont à prendre dans une acception générique sachant qu'il peut y avoir plusieurs entreprises, dont une générale ou non, une ou des maîtrises d'œuvre aux responsabilités techniques différentes, une assistance à maîtrise d'ouvrage (alors à incorporer à maîtrise d'ouvrage).

**Présentation détaillée du logigramme**

**Phase amont : mise en œuvre du BIM sur un projet**

**Cette phase amont du logigramme [Partie 1]** rappelle la démarche qui doit être initiée par le Maître d'Ouvrage pour mettre en œuvre une démarche BIM sur une opération d'Infrastructure.



**Fig.8 : Détail du logigramme (Partie 1)**

Il reprend l'approche générale présentée dans le « Guide d'application du BIM Infra » réalisé en saison 1 de MINnD (MINnD\_TH01\_UC00\_02-Guide\_Application\_BIM\_Infra\_025\_2019) et notamment le schéma de mise en œuvre du BIM sur un projet :

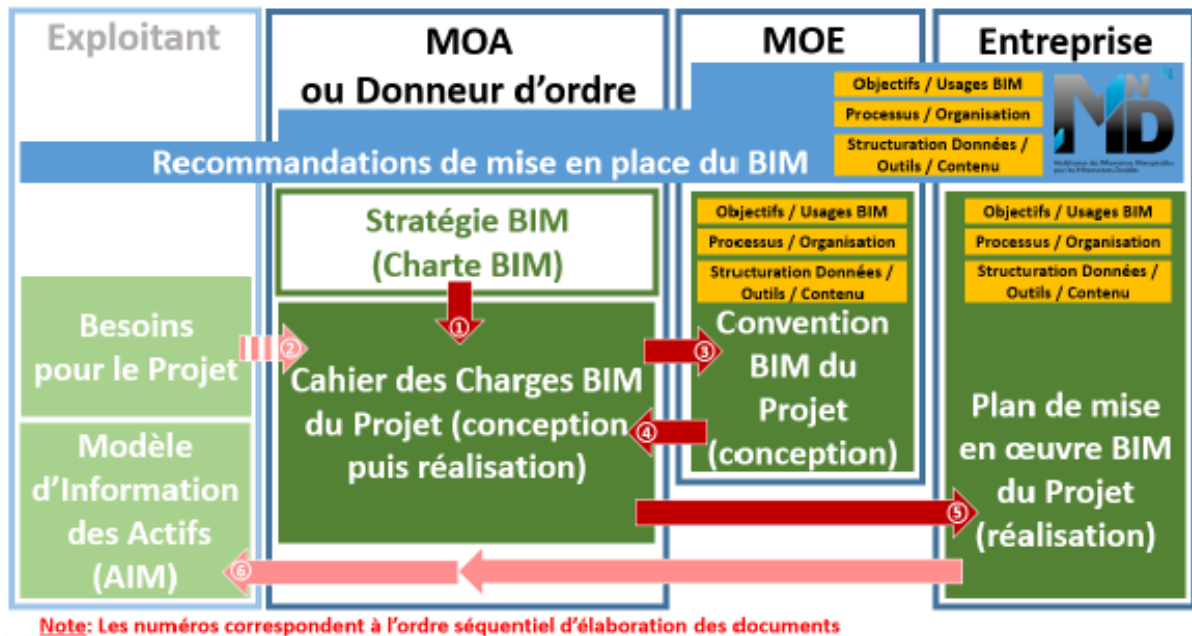


Fig.9 : Schéma de mise en œuvre du BIM sur un projet (MINnD S1)

Les 4 documents clés qui régissent et organisent une démarche BIM pour un projet donné sont :

- La Charte BIM propre à la MOA.
- Le Cahier des charges BIM pour le Projet établi par le MOA.
- La convention BIM établie par le MOE.
- Le Plan de Mise en œuvre BIM (ou Plan d'Exécution BIM – BEP) mis en œuvre par l'Entreprise.

**Production des  
Maquettes Numériques  
d'Exécution**

Conformément à son Marché et à son Plan d'Exécution BIM (BEP), **l'Entreprise met en œuvre une organisation BIM de production de ses Études d'Exécution.**

**Un exemple d'organisation est la suivante [Partie 2] :**

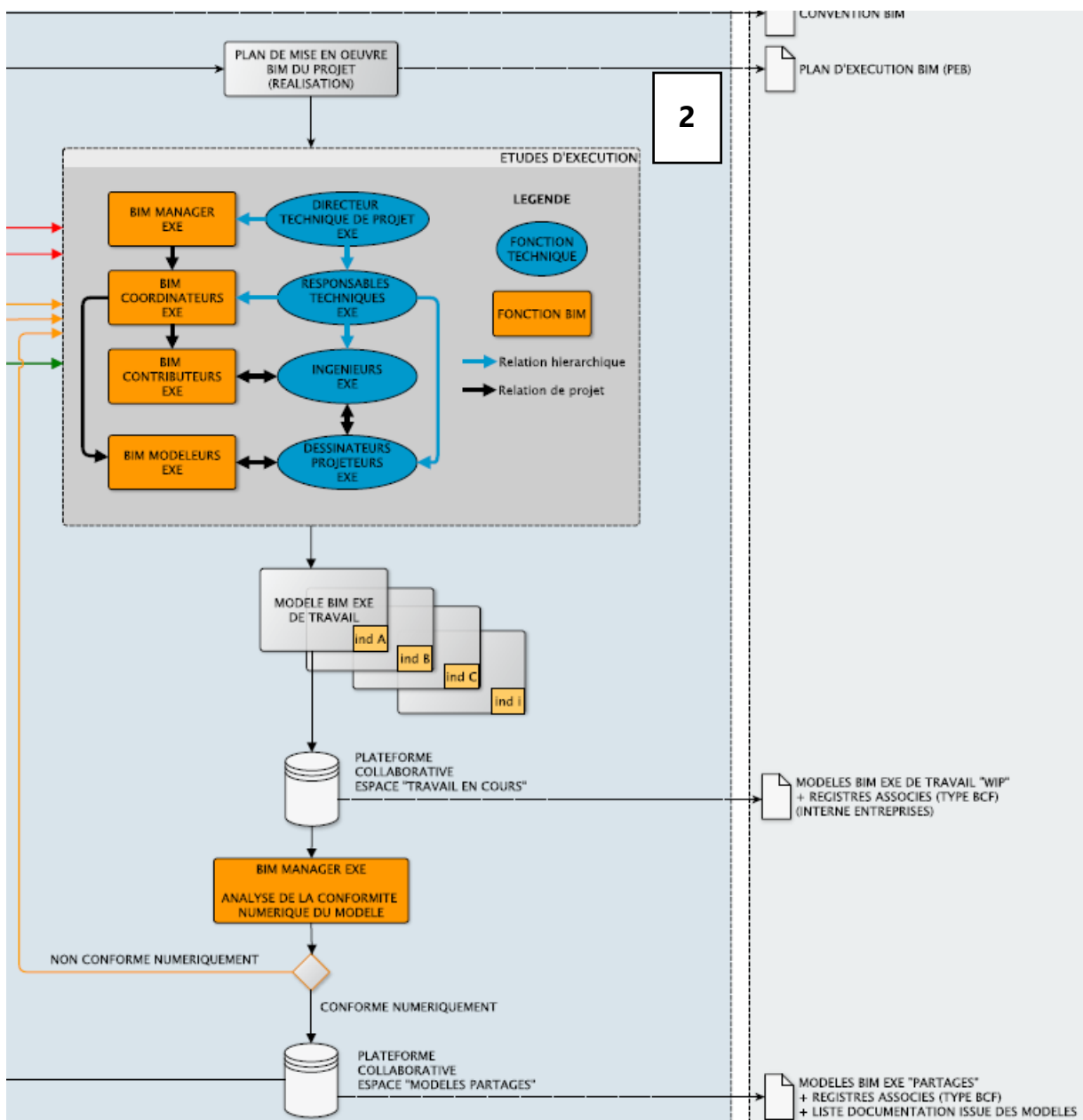


Fig.10 : Détail du logigramme (Partie 2)

Toujours en conformité avec les travaux de la saison 1 (MINnD\_TH01\_UC00\_02-Guide\_Application\_BIM\_Infra\_025\_2019 p43/69), les « rôles BIM » d'une part et « rôles techniques/ projet » d'autre part sont différenciés (par l'adoption d'un code couleur : orange pour les « rôles BIM » et bleu pour les « rôles techniques / projet »).

En effet, la conformité numérique d'une maquette (model checking, c'est-à-dire conformité vis-à-vis de la convention BIM) ne préjuge en rien de sa performance réelle (design checking, c'est-à-dire justesse vis-à-vis de la conception et de la réglementation). Les outils informatiques sont à disposition des architectes et ingénieurs pour valider la bonne intégration de l'ensemble des disciplines techniques de l'ouvrage au sein d'une infrastructure performante. Le pavé études d'exécution de l'entreprise est ainsi très explicite en ce sens qu'il explicite la responsabilité globale et entière du directeur technique de projet d'où procède celle des intervenants techniques puis celles des intervenants BIM.

**Visa des Maquettes Numériques**

À ce stade, et conformément au cadre du processus décrit précédemment, les Maquettes du modèle numérique BIM EXE évoluent de l'espace « **Travail en cours** » à l'espace « **Modèles partagés** ».

Ces Maquettes du modèle numérique BIM EXE issues de l'espace « **Modèles partagés** » sont alors soumises à l'**analyse de sa conformité numérique** par le BIM Manager MOE voire le CT et/ou CSPS pour **avis de conformité numérique selon le schéma suivant [Partie 3]:**

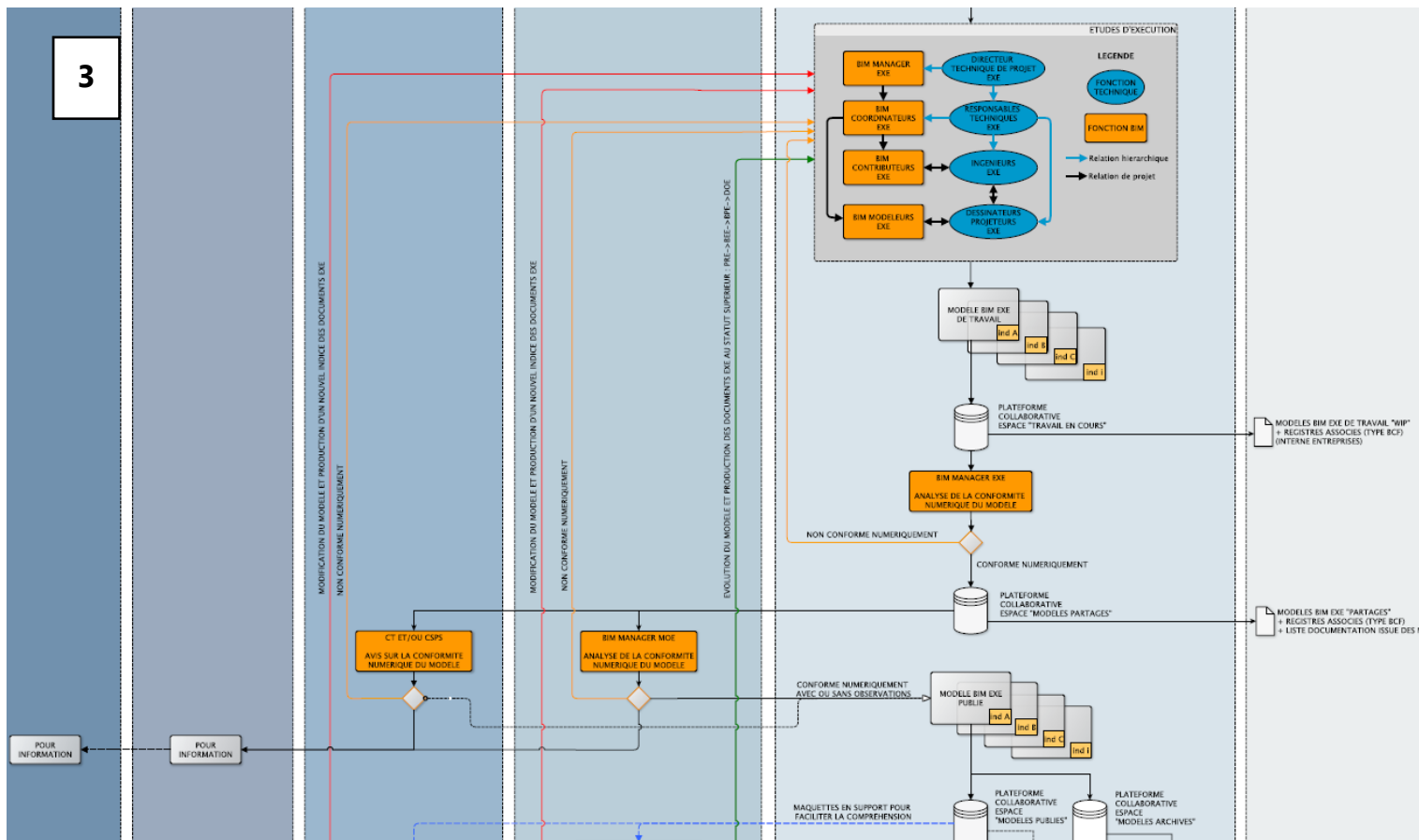


Fig.11 : Détail du logigramme (Partie 3)

**Visa des documents d'Exécution**

Le Modèle Numérique BIM EXE une fois conforme numériquement est alors publié dans l'espace « **Modèles publiés** ».

C'est à partir des modèles numériques BIM EXE de l'espace « **Modèles publiés** » que vont être diffusés les documents d'exécution soumis au **Visa Technique du MOE et du CT et/ou CSPS** reprenant ainsi le circuit « classique » de validation d'un VISA conformément au processus présenté au chapitre 3.2 ci-avant. **Ce circuit de validation est rappelé ci-dessous [Partie 4].**

Il est à noter que le MOE travaille pour effectuer son visa en comparaison de la maquette PRO qu'il avait produite. S'il y a lieu, il est recommandé que la maquette PRO soit mise à jour des ajustements de conception requis en cours d'exécution à la suite de modifications, travaux supplémentaires, traitements de non conformités et dûment approuvés. Ceci permet de disposer lors de la réception de maquettes PRO et BPE/TQC concordantes, la seconde détaillée et enrichie de l'exécution validée, la seconde allégée de ces derniers détails souvent superfétatoires pour des tâches de conception lors de travaux ultérieurs.

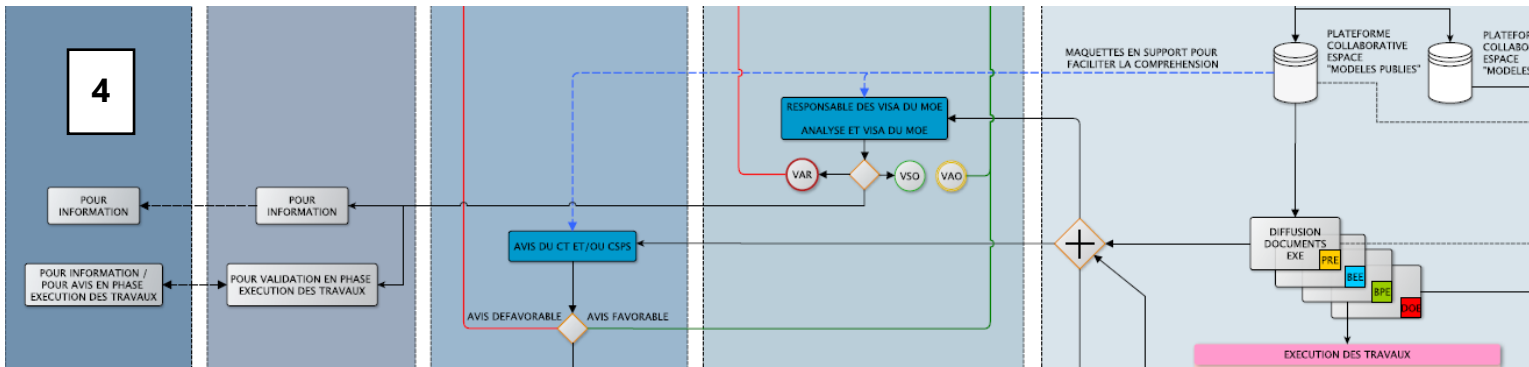


Fig.12 : Détail du logigramme (Partie 4)

- Évolution durant les travaux
- Les demandes de modifications de travaux (DM)
- Les non-conformités (NC)
- Contrôles pendant et après les travaux
- Interventions durant l'exécution des travaux

Les **statuts des documents d'exécution** produits à partir des modèles numériques BIM EXE vont ainsi **évoluer des statuts d'avancement BEE, puis BPE, jusqu'au statut finale DOE**.

Comme rappelé au chapitre 4.7 ci-avant, l'exécution des travaux est subordonnée à l'obtention **du statut BPE de la zone ou de l'ouvrage concerné**.

Puis, c'est durant les travaux que vont apparaître :

**Les demandes de modifications (DM) de travaux** ordonnés durant la phase d'exécution seront soumises à l'avis du MOE, du CT et/ou du CSPS et devront être validés par le MOA avant mise en œuvre.

**Le traitement des Non-Conformités (NC)** respectera les procédures internes aux entreprises pour remédier aux non-conformités et leur permettre de mettre en œuvre les mesures préventives relevant de leurs responsabilités. Ces procédures sont décrites dans les Plans d'Assurance Qualité (PAQ) de chacune d'entre elles.

Le traitement de ces Non-conformités sera également soumis à l'avis du MOE, du CT et/ou du CSPS et devront être validés par le MOA.

Les objectifs des contrôles pendant et après les travaux ont été définis au chapitre 3.1, lors de l'explication du cycle en V (Fig.3).

**Le schéma suivant correspond au suivi des interventions durant l'Exécution des travaux [Partie 5] :**

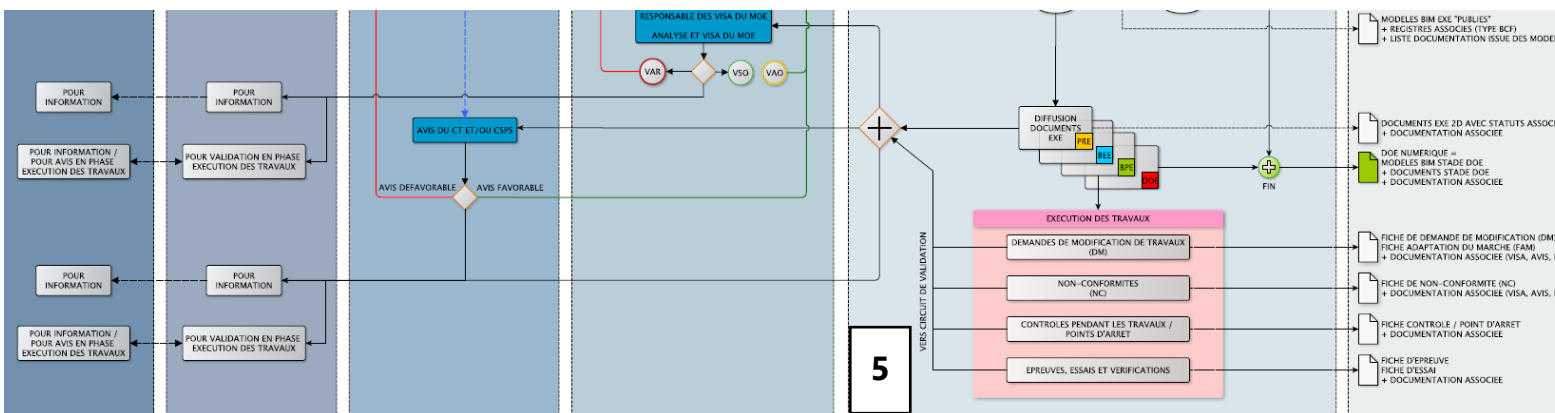


Fig.13 : Détail du logigramme (Partie 5)

- Production du DOE Numérique

À l'issue de l'exécution des travaux et de l'ensemble des contrôles, vérifications, épreuves et essais, un **modèle BIM EXE au statut DOE** sera délivré comprenant ainsi :



- La Maquette Numérique Tel Que Construite (TQC),
- L'ensemble de la documentation et de la base de données associée au statut DOE

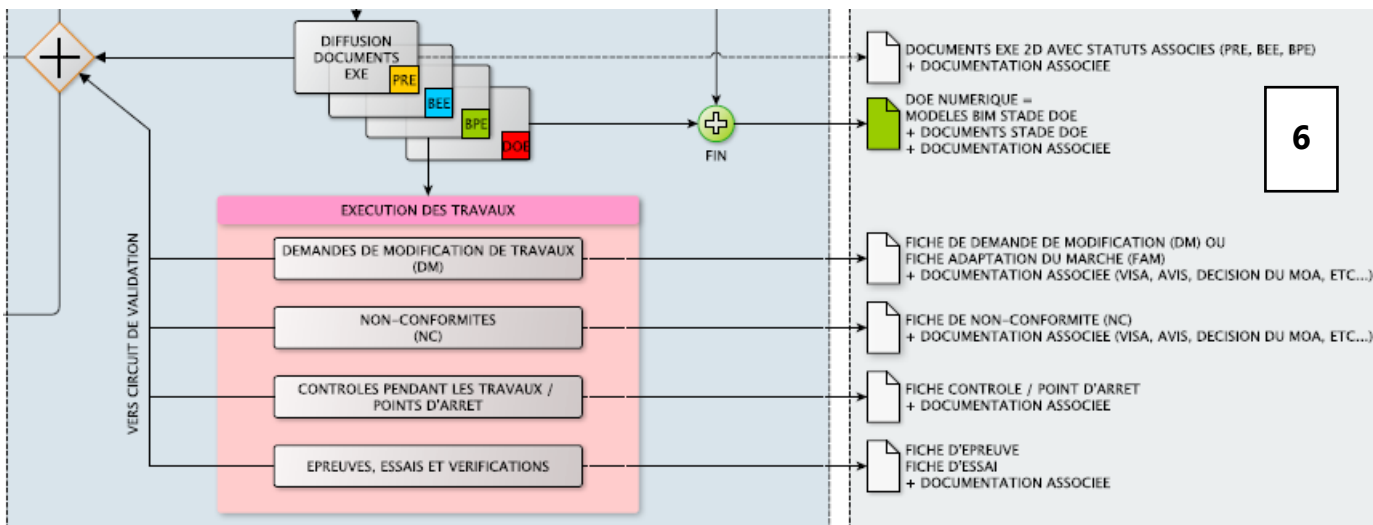


Fig.14 : Détail du logigramme (Partie 6)

### Conclusions

#### Quel sont les bénéfices attendus ?

Le processus de VISA en BIM offre plusieurs bénéfices pour les professionnels du secteur de la construction.

- Consolidation et accessibilité accrue des informations : En ayant une seule source d'information partagée et accessible, il est possible d'améliorer la prise de décision et la collaboration entre les différents acteurs du projet.
- Amélioration de l'efficacité et de la productivité : En automatisant les processus de travail, il est possible de réduire les erreurs de saisie et d'éliminer les tâches répétitives, ce qui peut augmenter considérablement la productivité et réduire les délais de validation.
- Possibilité de suivre et d'analyser l'avancement du processus en temps réel : Les tableaux de bord permettent de suivre l'avancement du projet en temps réel et de prendre les mesures nécessaires pour remédier aux écarts.
- Traçabilité et archivage des données : Grâce au processus de VISA en BIM, il est possible de suivre et d'enregistrer toutes les modifications apportées aux informations du projet, ce qui permet une gestion efficace des données et une facilitation de l'accès aux informations à tout moment. Les maquettes BPE/TQC et PRO, si cette dernière est mise à jour, sont cohérentes entre elles lors de la réception.

Cependant, il est important de souligner que pour bénéficier pleinement de ces avantages, une planification et une mise en œuvre adéquates sont nécessaires, ainsi qu'une attention aux aspects de sécurité des données pour protéger la confidentialité des informations.

#### Quels sont les freins ?

Le processus de VISA en BIM peut présenter des freins importants, tels que :

- Aspects contractuels : le processus VISA actuel est particulièrement contractualisé car il engage la responsabilité de celui qui le délivre. Un processus BIM pour la délivrance de ce VISA nécessite une volonté partagée d'expérimentation et mise au point itérative, ce qui exige une maturité numérique élevée des entreprises et de la MOA.



- Résistance au changement : Certaines personnes peuvent être réticentes à adopter de nouvelles technologies ou pratiques, ce qui peut entraver la mise en œuvre réussie de ce processus.
- Coûts financiers : Le développement, la mise en place et la maintenance des logiciels et plateformes requis peuvent entraîner des coûts financiers, ce qui peut constituer un frein pour certaines entreprises.
- Formation des intervenants : Pour mener à bien ce processus, il peut être nécessaire de former les intervenants, ce qui peut également entraîner des coûts supplémentaires.
- Protection de la confidentialité et de la sécurité des données : Le traitement et la gestion des données sensibles nécessitent une attention particulière pour garantir la protection de la confidentialité et de la sécurité des données.
- Adhésion partagée et collaboration efficace : Il peut être difficile d'obtenir une adhésion partagée et une collaboration efficace entre les différentes parties prenantes, ce qui peut entraver la réussite du processus.

Il est donc important de prendre en compte ces freins lors de la planification et de la mise en œuvre du processus de VISA en BIM pour garantir un déploiement réussi et un maximum de bénéfices pour chacun des intervenants.

## 4 VALIDATION D'UNE MAQUETTE TQC

### 4.1 Introduction

**Des modélisations en cours d'exécution à la production d'une maquette tel que construit**

**Méthodologies de relevés topographiques pour la réalisation d'une maquette numérique TQC**

Dans un projet réalisé avec une démarche BIM, la réception des travaux est facilitée par la création puis la validation d'une maquette numérique « TQC » (Tel Que Construit), qui servira de référentiel au DOE numérique de l'ouvrage réalisé.

Ce chapitre propose de faire un point sur les méthodes de relevés numérique associés à la réalisation de cette maquette TQC. Nous rappelons que les méthodes de relevés numériques ont été largement développées dans le livrable *MINnD\_TH01\_UC00\_03\_Relevés\_numeriques\_026\_2019* du projet MINnD Saison 1<sup>2</sup>.

La mise en œuvre d'une approche BIM dans la gestion des chantiers fait évoluer le concept de récolement (voir définition au chapitre 9.1) pour définir celui de « maquette numérique Tel Que Construit » ou MN TQC.

Cette évolution ne change pas le besoin de collecte des informations qui ont pour objectif de contrôler les travaux réalisés. La maquette TQC doit reprendre l'ensemble des géométries, des positions et des données associées à tous les éléments construits dans le projet, afin de les comparer aux informations disponibles de ces mêmes éléments dans la conception. L'ensemble de ces informations doit être identifié avec un géoréférencement fixe, avec les tolérances admissibles dans la profession ou dans le CCTP du projet.

Le relevé des écarts de géométrie et de position entre la conception et la réalisation permet aux donneurs d'ordres (MOA/ AMO/ MOE) de valider la réception des travaux pour transmettre une base d'information conforme à l'existant construit, ou du moins dans les tolérances admissibles de la géométrie des ouvrages, aux services en aval, qu'il s'agisse de l'exploitation, de la maintenance, de la déconstruction, etc.

Dans le livrable *MINnD\_TH01\_UC00\_03\_Relevés\_numeriques\_026\_2019* de mai 2019, les auteurs ont référencé toutes les technologies permettant la collecte, le traitement et les rendus des données topographiques nécessaires à cette production. Il ne traite pas des données attributaires associées aux éléments relevés géométriquement.

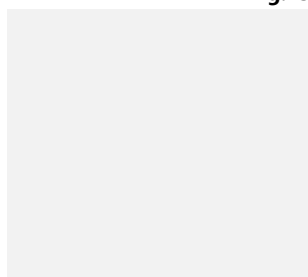
Ce livrable traite de la formulation des besoins par les donneurs d'ordre, expose des cas d'usages et indique les techniques d'acquisition les plus adaptées aux besoins exprimés. Il est évident que les exemples de matériels proposés ont évolués depuis la sortie de ce livrable, mais les concepts et explications fournies restent adaptées. La conclusion proposée dans ce livrable est toujours d'actualité et permet aux lecteurs de comprendre les différents usages entre les relevés par méthodes traditionnelles, par photogrammétrie, LIDAR ou interférométrie.

<sup>2</sup> [https://www.minnd.fr/wp-content/uploads/2020/09/MINnD\\_TH01\\_UC00\\_03\\_Relevés\\_numeriques\\_026\\_2018.pdf](https://www.minnd.fr/wp-content/uploads/2020/09/MINnD_TH01_UC00_03_Relevés_numeriques_026_2018.pdf)

Opérations	Méthodes						
	Relevé Traditionnel Tachéomètre	GPS	Photogrammétrie	Lidar statique	Lidar dynamique terrestre	Lidar dynamique aéroporté	Interférométrie radar (INSAR)
Mise à jour de plans 1/1000 ème	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté	Peu adapté	Peu adapté	Pas adapté
Zone < 10 ha	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté
Zone > 10 ha	Peu adapté	Peu adapté	Pas adapté	Pas adapté	Peu adapté	Peu adapté	Affaissements, glissements, retrait gonflement.
Zone > 100 ha	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Pas adapté	Peu adapté	Adapté	Affaissements, glissements, retrait gonflement.
Infrastructure linéaire	Peu adapté	Peu adapté	Peu adapté	Peu adapté	Adapté	Adapté	Sismotectonique
Chaussées	Peu adapté	Pas adapté	Peu adapté	Peu adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté
Ouvrages d'art	Peu adapté	Pas adapté	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté	Peu adapté
Ouvrages hydrauliques (barrages)	Adapté	Pas adapté	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté	Hors (eaux)
Gare de péage	Peu adapté	Pas adapté	Adapté	Adapté	Adapté	Pas adapté	Pas adapté

Légende	
	Adapté
	Peu adapté
	Pas adapté

Fig.15 : Conclusion du livrable « Relevés Numériques » de MINnD Saison 1



Il est de la responsabilité de chacun des acteurs de la construction de connaître les limites des méthodes de saisie et de traitement utilisées et de s'entourer de professionnels qualifiés pour les accompagner dans leurs missions. Le travail de topographie associé à la création de la maquette TQC doit dans tous les cas répondre aux exigences de précision et de tolérance définies par le MOA ou ses représentants dans son cahier des charges. Cette partie est plus explicitement traitée dans le livrable « Incertitudes et Tolérances : Enjeux et Définitions » réalisé par le groupe de travail 2.2 de MINnD Saison2, relatif à la précision et tolérance d'un projet BIM.

## 4.2 Attentes MOA

### Attentes objectifs BIM

Les exigences sur la forme et sur le contenu du DOE/DIUO BIM doivent être précisées clairement par le MOA dans son cahier des charges BIM à travers les cas d'usages BIM. En premier lieu, ces exigences doivent refléter les problématiques d'usage propres au MOA et aux intervenants pour l'usage desquels le MOA construit l'ouvrage ou l'infrastructure (l'exploitant ultérieur, le mainteneur...). Ce sont là des exigences liées à ce que l'ingénierie des systèmes appelle l'architecture opérationnelle (définition de l'ouvrage à partir de son usage attendu). Il est donc fortement conseillé pour un MOA d'exprimer ses attentes dès les premières phases du projet. Ceci pour éviter de mauvaises interprétations par le MOE lors de la rédaction de sa convention BIM (en réponse au cahier des charges BIM MOA) puis par l'entreprise générale dans l'élaboration de son plan d'exécution BIM (en réponse à la convention BIM MOE) et pour orienter les acteurs vers la satisfaction ultime des besoins des utilisateurs de l'infrastructure.

### Maquette numérique, DOE et BIM dans le CCAG

Selon l'article 40 du CCAG Travaux de 2021 « *ce n'est que si les documents particuliers du marché le précisent que des exemplaires des DOE peuvent être remis sur un support papier ou un support physique numérique* ».

23.5.1 « *La maquette numérique DOE est en principe composée des maquettes numériques relatives aux ouvrages, des données et informations relatives à l'ouvrage (...), les documents associés et liés, particulièrement ceux mentionnés à l'article 40 du CCAG-Travaux, et l'historique de la plate-forme collaborative* ».

### « Quelle est la valeur juridique de la maquette numérique DOE ?

*La maquette numérique est partie intégrante du DOE, mais elle ne le remplace pas.*

*Aussi, en cas de sinistre ou de litige, seuls les DOE et DIUO remis dans les conditions de l'article 40 du CCAG Travaux ont valeur probante.*

*Si la maquette numérique DOE peut permettre d'identifier plus rapidement l'origine voire la cause d'un sinistre ou de retracer les interventions sur l'ouvrage, celle-ci n'a à ce jour aucune valeur juridique* ».

### DOE/DIUO BIM et continuité numérique pour les opérations ultérieures

Lorsque le DOE/DIUO BIM est exigé sur un projet, la maquette DOE BIM met à la disposition du MOA les données complètes et fiables de l'ouvrage construit, qui pourront par la suite constituer des données d'entrée pour la création de la maquette d'exploitation-maintenance. La continuité des données lors du transfert en exploitation-maintenance permet notamment d'éviter le travail laborieux de collecte des données de l'ouvrage construit par l'exploitant-mainteneur, tâche pouvant créer un surcoût dès le début de l'exploitation-maintenance.

Le DIUO/DOE BIM est aussi bénéfique pour le MOA. En tant que support au DIUO/DOE classique, la maquette numérique permet de :

- Centraliser l'ensemble des informations du projet des phases de conception à la réception de l'ouvrage ;
- Structurer ces informations ;
- Faciliter l'accès à ces informations ;
- Simplifier la compréhension du projet par la représentation 3D de l'ouvrage.

### Les exigences se situent au niveau d'information, au

Lors du développement des exigences du MOA, il est important de se placer dans une vision opérationnelle de l'infrastructure de façon à décrire complètement et de façon cohérente tout ce qui est attendu de la mise sous format numérique des

### niveau géométrique et au niveau des liaisons entre maquette et documents

informations et données du projet pour répondre aux utilisateurs futurs. Le CCAG n'étant pas très développé de ce point de vue, il importe, si le MOA veut voir ses objectifs de long terme vis à vis des futurs exploitants satisfaits, de prendre le temps de les définir raisonnablement au regard des pratiques et des compétences des intervenants qui seront retenus.

Les exigences sur le contenu du DIUO/DOE BIM (maquettes et documents) peuvent alors se diviser en 3 classes d'exigences :

- Les exigences sur le niveau d'information ;
- Les exigences sur le niveau géométrique de la maquette DOE ;
- Les exigences sur la liaison (si cette liaison est envisagée) entre les objets BIM de la maquette DOE et les documents du DIUO/DOE.

### Niveau d'information

Deux types d'information sont à prendre en considération :

- Les paramètres inclus dans les objets BIM de la maquette DOE ;
- Le nommage des documents des DIUO/DOE classiques (si liaison objet BIM/document envisagée)

La multitude d'acteurs tout au long des phases d'un projet de construction, quel qu'il soit, nécessite la mise en place d'un référentiel commun de données. Un objet BIM d'une maquette numérique peut être en effet décrit, sémantiquement parlant, différemment selon l'acteur. Il est donc essentiel, pour un MOA, d'instaurer un vocabulaire commun sous la forme d'un système de codification pour identifier chaque objet BIM de manière unique. Un objet BIM doit pouvoir être, à minima, identifié par sa définition et par sa localisation.

Pour définir un objet BIM, de nombreux systèmes de codification standardisés existent parmi lesquels figurent, ci-dessous, les plus utilisés en BIM :

- La codification Uniclass.
- La codification Omniclass.
- La codification Unifomat.

### Codification et localisation

Les systèmes de codification ci-dessus étant généraux, ils peuvent faire l'objet d'adaptation en fonction des spécificités d'un projet. Aussi, lorsqu'un objet BIM décrit un équipement rare ou un équipement dont la fréquence de maintenance est importante (par exemple), il est conseillé de renseigner les paramètres de l'objet BIM au-delà de son type : la description de la gamme, du matériau ou encore le renseignement du numéro de série et du fournisseur constituent des données pertinentes.

Un objet BIM doit pouvoir être localisé *a minima* :

- Pour du bâtiment : dans un espace (notamment pour les bâtiments de grandes envergures où l'étage ne suffit pas à localiser l'objet BIM). Cet espace est lui-même situé sur un étage appartenant à l'ouvrage ;
- Pour de l'infrastructure linéaire : dans un espace (exemple : espace piste/espace de circulations techniques pour un tunnel ...). Cet espace serait inclus dans une partie de l'ouvrage linéaire défini par son point kilométrique (exemple : anneau pour un tunnel, tablier pour un viaduc ...).

### Convention de nommage des documents

En plus de la codification BIM des maquettes numériques, le MOA doit mettre en place, dès les phases programmatiques, une convention de nommage des documents GED produits tout au long du projet. Le respect de la convention de nommage est particulièrement important si une liaison entre les objets BIM de la maquette DOE et les documents du DIUO/DOE classique est envisagée. Un DOE BIM peut être considéré que si le DIUO/DOE classique a correctement été élaboré au préalable. Le DIUO/DOE BIM n'a, en effet, pas vocation à remplacer le DIUO/DOE classique, mais bien à servir de support à celui-ci. Or, un DIUO/DOE classique est facilement exploitable que si sa structuration est de qualité, à

### Niveau géométrique

savoir que l'ensemble des documents contenus dans le DIUO/DOE classique sont correctement nommés et rangés dans les dossiers appropriés du projet. Pour couvrir les besoins d'un projet, quel qu'il soit, il est conseillé à minima d'avoir une structure de nommage de documents permettant d'identifier, de manière unique, un document par :

- Le projet sur lequel le document est applicable ;
- Son titre ;
- Son émetteur ;
- Sa phase de projet ;
- Son type (pièces graphiques : plan/maquette ; pièces écrites : CR de réunion, contrat...) ;
- Sa discipline (génie-civil, second-œuvre...) ;
- Son numéro de version.

Selon les phases du projet, la maquette numérique doit être plus ou moins détaillée sur sa géométrie pour respecter les niveaux de définition (LOD) définis dans le cahier des charges BIM du MOA puis repris dans la convention BIM du MOE.

Quelle que soit la phase du projet, la représentation géométrique de l'objet BIM doit intégrer à minima son encombrement et son orientation. La représentation 3D doit être suffisamment explicite pour permettre la reconnaissance de l'objet BIM par un utilisateur de la maquette numérique, sans qu'il rentre dans les paramètres de l'objet BIM.

À la remise du DIUO/DOE, il est attendu de la part de l'entreprise, une maquette DOE de niveau ND5 dont le contenu géométrique et sémantique doit être explicité. (voir illustration Fig.16).

Selon la taille du projet, le MOA doit être particulièrement vigilant quant à la signification de ce niveau de développement géométrique : la géométrie étant plus lourde que la donnée, modéliser de manière détaillée l'ensemble des objets BIM de la maquette DOE, ralentirait la navigation dans celle-ci. Pour faciliter l'exploitation de la maquette DOE dans un outil, il est conseillé donc de fixer une limite de poids par objet BIM à ne pas dépasser. La valeur de cette limite doit faire l'objet d'une étude au cas par cas selon l'objet BIM en considérant :

- Sa discipline (génie-civil, architecture, électricité, système...) ;
- Le critère de rareté de l'équipement représenté ;
- Le critère de sécurité ;
- La fréquence de maintenance ;
- etc.

À noter que la géométrie pèse plus lourd que la donnée : pour éviter de dépasser la limite de poids, certaines informations peuvent être contenues dans les paramètres d'identification de l'objet BIM sans nécessairement les représenter géométriquement (matériau, gamme ...). Plutôt qu'une limite de poids par objet BIM, certains MOA fixent une limite de poids par maquette, en considérant qu'une maquette de réseaux d'un projet pèse généralement plus lourd qu'une maquette de gros-œuvre (par exemple), la maquette de réseaux pouvant en effet aller jusqu'à la représentation 3D de composants.


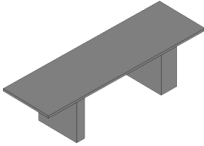
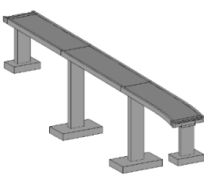
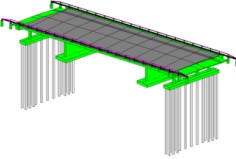
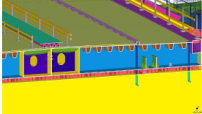
LOD 100 LOG 100	LOD 200 LOG 200	LOD 300 LOG 300	LOD 325 LOG 325	LOD 400 LOG 400
 2D signature of the structure indicating under- and overpasses	 Simple 3D model indicating support and type of structure. The dimensions are based on experience and are not designed.	 3D model of the designed bridge including designed supports, foundation and bridge deck.	 3D model of the correct shape including all sloping surfaces and elements. The model must include the hidden geometry such as foundations, piles and similar.	 Concrete structures are modelled to include all reinforcement and finishes. Steel structures are modelled to include correct production lengths, bolts, all holes in the structure and joints.
LOI 100	LOI 200	LOI 300	LOI 325	LOI 400
DDA Layers Geometrical parameters 2D text indicating structure ID.	DDA Layers Geometrical parameters 2D text indicating structure ID.	Pending	Pending	Pending

Fig.16 : Spécifications des modèles pour les ponts et les tunnels (BIM INFRA, Danemark)

**Exigences sur la liaison objet BIM/document**

Le type de liaison objet BIM/document GED, si envisagée pour l'élaboration du DIUO/DOE BIM, doit être précisé bien en amont, durant les premières phases du projet par le MOA et au mieux, en concertation avec le futur exploitant-mainteneur si celui-ci est identifié à ce stade.

La MOA doit être force de propositions même en l'absence de l'exploitant-mainteneur.

La liaison peut se faire par plusieurs moyens (la liste ci-dessous n'est pas exhaustive) :

- Une interface entre la GED du projet et la maquette numérique ;
- Un paramétrage inclus dans chaque objet BIM de la maquette DOE.

**Solution de la liaison entre GED et maquette**

Plusieurs outils, disponibles sur le marché, sont dotés d'une visionneuse et permettent, lorsqu'un utilisateur clique sur un objet BIM de sa maquette, d'avoir accès directement à un document correspondant à l'équipement représenté (fiche produit, notice de fonctionnement ...). Pour créer cette liaison dans l'outil, l'utilisateur doit généralement faire correspondre les métadonnées relatives au nommage des documents avec celles relatives à la codification BIM. L'outil est lié avec la GED d'un projet, ce qui permet de garantir la véracité de la liaison objet BIM/document sur la base de la dernière version validée du document sur la GED.

**Solution par paramétrage des objets de la maquette**

La liaison peut se faire via le renseignement d'un paramètre présent dans chaque objet BIM. La métadonnée peut être sous plusieurs formes, notamment :

- Une simple donnée texte.
- Un lien hypertexte renvoyant directement vers la GED (pointant un document en particulier ou un dossier du DIUO/DOE classique).
- Un lien hypertexte renvoyant vers l'explorateur de fichier (pointant un document en particulier ou un dossier du DIUO/DOE classique).
- Une base de données rattachée à la GMAO.

Chaque forme de métadonnées a ses avantages et ses inconvénients. Un MOA souhaitant la liaison objet BIM/document doit se soucier de :

- La facilité d'accès aux documents du DIUO/DOE classique.
- La sécurité de la liaison (si certains documents contractuels font l'objet d'une liaison avec la maquette numérique).
- La pérennité de la liaison.
- La taille du projet et le nombre de documents produits par discipline.
- La facilité de contrôle de la liaison.

## Tolérances

### Expression des tolérances (selon phase d'étude, selon projet, selon l'usage...)

Les notions de tolérances, d'incertitudes et des risques associés ont été traitées dans le groupe de travail MINnD GT2.2, et en particulier dans les livrables :

- MINnDs2\_GT2.2\_incertainitudes\_tolerances\_enjeux\_definitions
- MINnDs2\_GT2.2\_incertainitudes\_tolerances\_qualification\_recommandations

La tolérance est la « variation admise de la valeur spécifiée pour une dimension ». Le respect des tolérances réglementaires et contractuelles contribue à la qualité et la pérennité des constructions.

Le principe des tolérances est abordé en détail dans le chapitre 5 du livrable MINnDs2\_GT2.2\_incertainitudes\_tolerances\_enjeux\_definitions\_024\_2022. Il s'agit principalement de gérer la cohérence des tolérances, étant donné que celles-ci sont propres à :

- type de projet (pont, tunnel, etc.) ;
- usages des ouvrages (exigences) ;
- phase d'étude ;
- objets considérés (objets manufacturés, objets réalisés en place, objets assemblés) ;
- méthodes d'exécution ;
- temporalité (tassements, déformation, fluage...);
- etc.

La tolérance varie également évidemment en fonction de :

- contexte de ce projet (public ou privé) ;
- périmètre du projet (organisation du marché, budget financier) ;
- environnement (individus et organisation) ;
- etc.

L'enjeu est de réaliser un produit conforme aux exigences, dans le respect des tolérances réglementaires et contractuelles.



## 4.3 Démonstrateur

### Introduction

Cette partie représente une partie expérimentale sur le sujet de la réception en BIM qui a été conduit en collaboration avec le groupe de travail GT6.3 sur « les revues numérisées de projets ». Elle a été conduite sur un projet d'infrastructure en cours d'achèvement et qui a été mené avec un usage important du BIM.

Il s'agit du projet du Rond-Point des Lavandes (RPDL) relatif à la modification du rond-point d'accès à l'Aéroport Marseille Provence. Le Maître d'ouvrage Aéroport Marseille Provence (AMP), a donné son accord, tout comme les autres partenaires du projet, d'en partager les résultats exposés ci-après.

Il se trouve que les partenaires du projet, mais aussi le Maître d'ouvrage étaient soucieux d'explorer les possibilités de réception reposant également sur le BIM, dans une volonté partagée de progresser :

- MOE et Entreprise de construction :
  - mesurer l'énergie à fournir pour renseigner les propriétés ;
  - digitaliser les processus de conduite de projet et déterminer les processus à mettre en œuvre pour préparer et réaliser une réception en BIM ;
  - analyser la proposition de valeur associée ;
  - expérimenter quelques pistes de de solution technique ;
- Client :
  - comprendre l'intérêt du DOE numérique vis-à-vis de leurs propres besoins d'exploitants ;
  - réfléchir sur les demandes à exprimer lors des projets à venir.

### Description Projet

#### Programme

Mise en souterrain de la principale voie d'accès du Rond-Point des Lavandes donnant accès à l'Aéroport de Marseille Provence (AMP)



Fig.17 : Rond-Point des Lavandes donnant accès à l'Aéroport de Marseille Provence (AMP)

#### Cadre contractuel

Aéroport Marseille Provence (AMP) en tant que maître d'ouvrage.

### Exigences BIM du maître d'ouvrage alors encore expérimentales et partielles

Contrat passé en conception construction :

- EGIS dans le rôle de maître d'œuvre.
- Groupement d'entreprise BOUYGUES TPRF et COLAS pour la construction.

L'AMP, quoique désireux d'adopter un processus BIM pour le projet n'avait pas encore mené à bien sa propre réflexion vis-à-vis de sa transformation numérique. En particulier, elle avait une expérience en BIM limitée au niveau de quelques bâtiments mais n'avait pas encore intégré de BIM dans ses projets d'infrastructures. Il n'y avait donc pas de structuration des données appropriées à de tels projets et le cahier des charges BIM était transposé de cahiers des charges de bâtiments, sans que toutes les clauses puissent s'appliquer au projet à mener.

Le RPDL était donc une opportunité pour expérimentation de nouveaux usages métier traités avec le BIM (lien avec logiciel de GMAO etc.) :

- Restitution d'une maquette numérique de l'ensemble des travaux réalisés (en formats natifs et IFC).
- Intégration des fiches techniques sur les équipements.
- Nommage certains éléments donnés par l'AMP sur la maquette numérique.
- Réalisation d'opérations de maintenance s'appuyant sur le BIM (hors périmètre contractuel).

### Performances attendues

Ces performances portaient sur la mise en place de deux fonctions :

Mise à disposition d'un DOE numérique complet : géométrie (modèles 3D) et informations associées (équipements mis en place et fiches techniques).

Accès aux informations en mode Web : navigation au sein du modèle agrégé et sélection des objets pour accéder aux informations complémentaires.

### Expérimentation de modalités mises en œuvre et renseignements collectés

Une convention BIM a été mise en place dès le lancement du projet. Elle a évolué en phase de construction. Elle portait sur :

- La définition des logiciels, des formats, des niveaux de détail par phase, des responsabilités et des usages métiers.
- Une classification des objets (découpage spatial et systémique) sous forme de feuilles Excel peu à peu enrichie pour couvrir l'ensemble des composants d'une infrastructure routière.
- Les usages de plusieurs modèles numériques (plusieurs sources / plusieurs formats) géoréférencés développés sur les plateformes les plus appropriées aptes à intégration ultérieure en une seule maquette globale.

Des relevés numériques (LIDAR) ont été réalisés pour vérification des gabarits de passages de l'ouvrage souterrain en particulier.

Des fiches techniques des équipements ont été établies dans les formats pdf et jpg.

### Données sorties sous un seul modèle numérique

Le DOE numérique s'est trouvé réalisé sous la forme d'un seul modèle numérique (agrégation sous le logiciel Navisworks d'Autodesk, au format nwd) avec liens hypertextes vers les fiches techniques des équipements.

### Cas d'usage Métier traités avec le BIM

Tous ces travaux répondent aux cas d'usages suivants :

- **Modélisation 3D** (réseaux existants, génie civil, réseaux, équipements, architecture paysagère et signalétique).
- **Gestion des interfaces** / Synthèse technique des différents corps d'état.
- **Communication** infrastructure vers usagers (coupe et navigation le long d'un chemin virtuel qui traverse le projet) : la réalisation a fait appel à la solution TwinMotion (sous forme exécutable indépendant de Navisworks) permettant

la scénarisation de parcours et la vérification des caractéristiques de lisibilité et de complétude des signalétiques.

- **DOE Numérique.**

### Structuration des maquettes

#### Découpage en plusieurs modèles de conception et introduction de modèles spécifiques pour l'exécution

Au niveau PRO, plusieurs modèles de Conception ont été élaborés.

Cependant, pour cause d'un achèvement insuffisant des modèles de conception lors des premières opérations de la phase de construction, il a été fait appel à des modèles de construction spécifiques de certaines spécialités : génie civil et fondations (ancrages de la paroi en pieux sécants de la tranchée couverte par de nombreux tirants d'ancrage) d'une part, réseaux d'autre part qui ont servi aux phases EXE et TQC.

L'agrégation de ces maquettes et la synthèse ont été effectuées dans Navisworks. Navisworks a aussi permis d'élaborer les fiches techniques.

#### Nommage tardif

Le nommage initial des objets est intervenu relativement tardivement faute d'indications par le Maître d'ouvrage. Il a été essentiellement conduit par une arborescence des composants, sous-systèmes en systèmes techniques majeurs proposée par le groupement et par mappage a posteriori en fonction des demandes MOA lorsque celles-ci ont été connues.

#### Propriétés

Les propriétés des objets ont été renseignées en suivant les capacités de Revit, paramétrées en fonction des exigences du client.

#### Attributs

Le processus utilisé est parti des noms des champs à renseigner (en tête d'une colonne Excel), et a couvert la validation du renseignement des propriétés (présence d'une valeur, cohérence des valeurs avec les attentes explicitées)

#### Systèmes des lots techniques difficiles à traiter

Au cours de l'expérimentation, il est apparu que les liens entre la maquette (vision essentiellement organique : fourreaux et gaines...) et les systèmes fonctionnels n'étaient pas réalisés et pourtant essentiels pour vérifier que l'infrastructure satisfait aux exigences du marché et met à disposition l'ensemble des données indispensables lors de la survenue d'incidents d'exploitations nécessitant des interventions de réparations.

En effet, il est peu courant de renseigner séparément les objets fonctionnels (ou théoriques) apparaissant dans les schémas fonctionnels (par exemple un conducteur transportant une information ou une énergie entre tel équipement terminal – moteur ou panneau de signalisation – et un central ou un disjoncteur) séparément des objets physiques les représentant et parcourant un certain cheminement tout en les liant de façon à pouvoir visualiser simultanément schémas et cheminements des câbles associés soit enterrés, soit enfilés dans des fourreaux ou dans des gaines.

Il y a là une question essentielle pour interconnecter schémas, maquette numérique et GMAO. La GMAO a besoin de récupérer les schémas fonctionnels, mais les opérations de maintenance et de conduites d'interventions ultérieures sur ouvrage ont besoin en sus d'interconnecter fonctions et maquettes.

### Acquisition données

#### Outils / Moyens technologiques

Diverses technologies ont été mises en œuvre sur ce projet dans le but d'obtenir un DOE fiable et représentatif d'une réception conforme de l'ouvrage :

- Conformité de l'ouvrage,
- Conformité de son double numérique,

- Cohérence de l'un et de l'autre.

Les processus d'assurance qualité sont bien entendus indispensables pour préparer les opérations de réception puisqu'ils permettent de valider les ouvrages construits tout au long de la réalisation, et, en cas de non-conformité, de vérifier que cette non-conformité a été réparée ou a été jugée acceptable en explicitant les raisons des prises de décision. La solution Dalux a permis la gestion des incohérences sur chantier et celle de la levée des réserves.

Une application de réalité augmentée sur smartphone a été également testée et mise en œuvre. Il est apparu durant l'expérimentation que la difficulté essentielle de telles solutions est de trouver des points et des lignes de référence, relatives ou absolues, dans la scène visualisée sur l'écran du smartphone : les surfaces de murs nus sont sans repère possible, même si les murs disposent de reliefs s'ils sont répétitifs (cas des parois en pieux sécants dont rien ne permet de distinguer un pieu du suivant) et il ne se trouve pas toujours deux arêtes bien caractérisées, verticale et horizontale dans le champ de vision.

Faute d'avoir pu structurer et nommer les données par avance, il n'a pas été possible d'envisager une saisie automatique des données. Il a donc été nécessaire de faire uniquement des saisies manuelles.

Dans le cas des réseaux : Mensura (Geodesial group) : réseaux CFO / CFA : EP / Équipements électriques, voirie et signalisation horizontale.

Outils Logiciels pour les réseaux

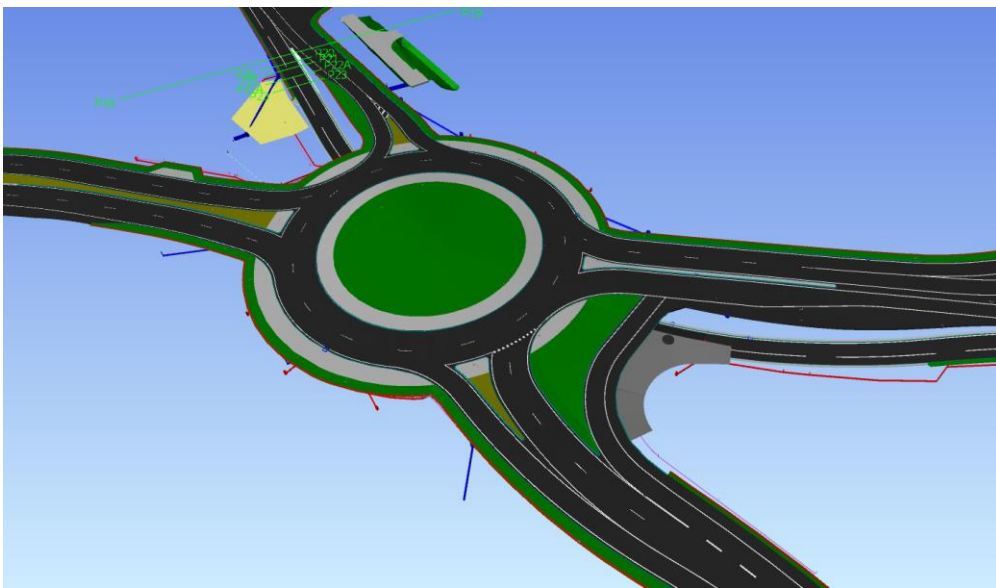
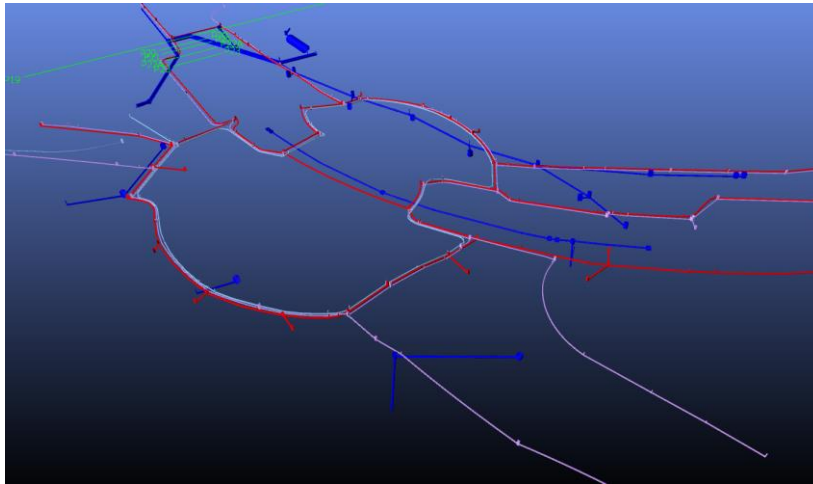


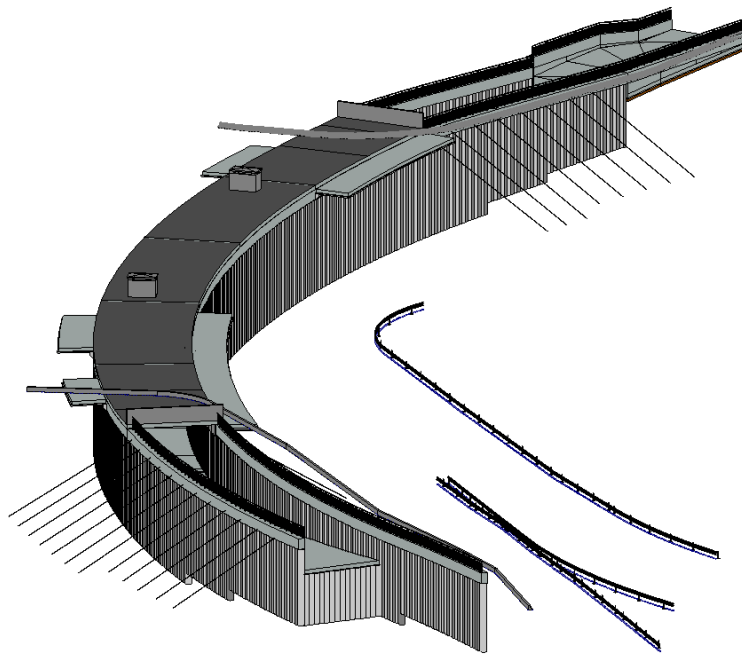
Fig.18 : Voirie et signalisation horizontale



**Fig.19 : Réseaux CFO / CFA / EP / Équipement électriques**

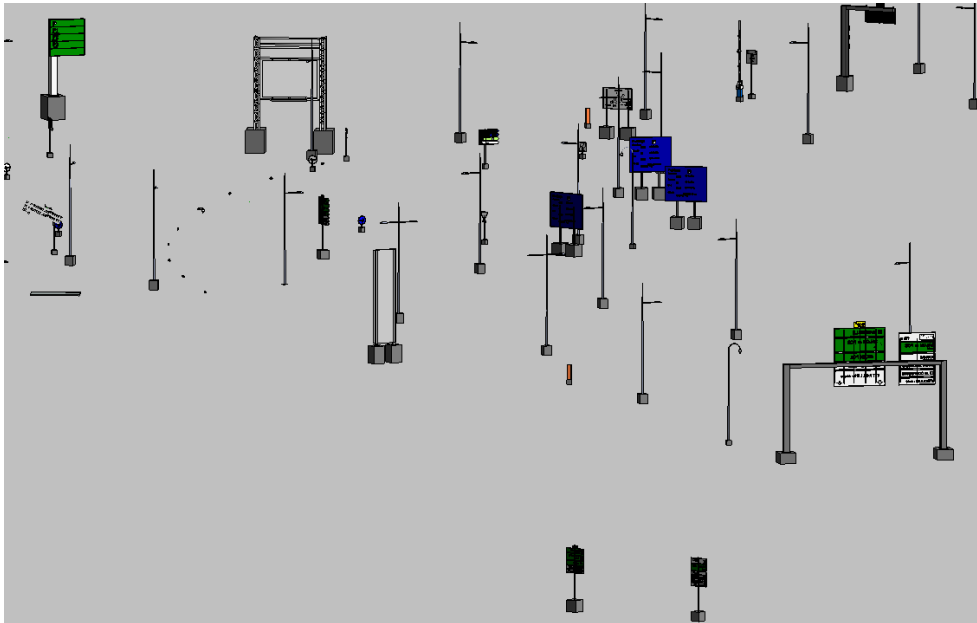
**Outils Logiciels pour le génie-civil**

Pour le génie civil : REVIT (Autodesk) : tranchée couverte et équipements localisés (signalisation verticale).



**Fig.20 : Modèle 3D du génie-civil**

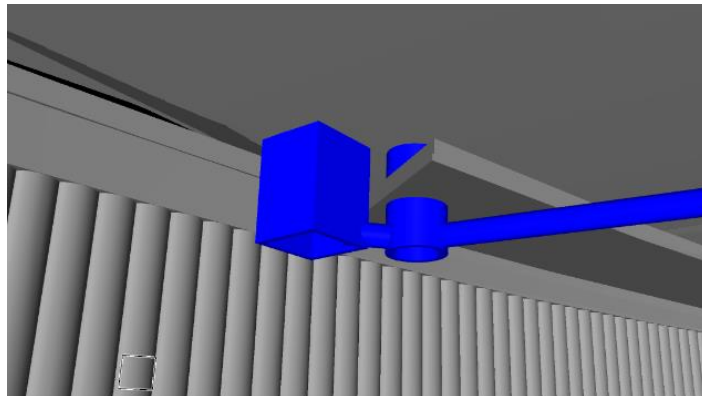




**Fig.21 : Positionnement des équipements + signalisation verticale**

**Outils Logiciels pour la synthèse**

Navisworks (Autodesk) : détection des collisions, rapport détaillé avec ou sans BCF (parfois vue d'écran et création d'une fiche sous Word) .



**Fig.22 : Collision entre réseau EP et génie-civil**

**Outils Logiciels pour le suivi du traitement des incohérences**

DALUX Field (module Construction) : points de contrôle qualité, identification des incohérences sur site et suivi du traitement des incohérences.

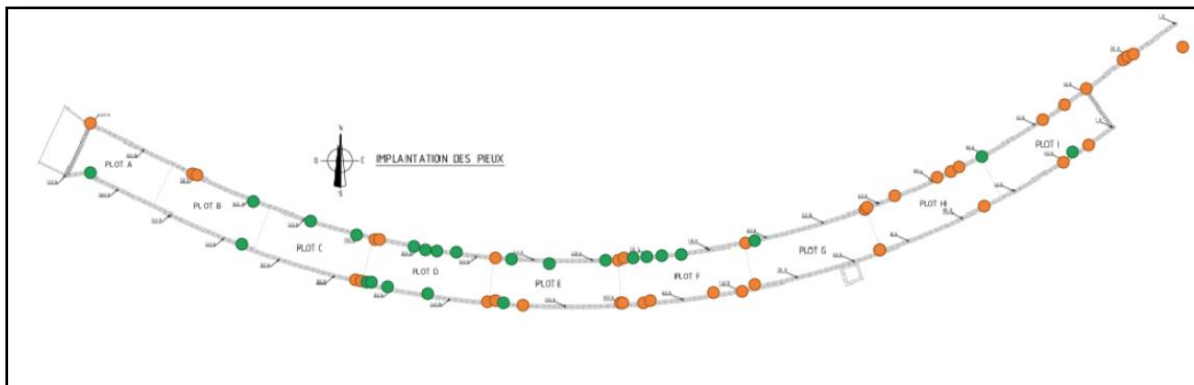


Fig.23 : Suivi de la qualité des pieux


janv. 17 2020, 12:31 Affecté à Franki Fondation	Créé par:	Atlante Bindner, Bouygues Construction
	Suppléant pour:	Benjamin THOREZ, Franki Fondation
	Cessionnaire:	Franki Fondation
	Titre:	Qualité pieu
	Description:	Infiltration d'eau (source)
		
1.1		
mars 6 2020, 12:18 Approuvé par Franki Fondation	Mis à jour par:	Atlante Bindner, Bouygues Construction
	Suppléant pour:	Benjamin THOREZ, Franki Fondation
	Description:	Plus d'infiltration.

Fig.24 : Information sur un problème de qualité identifié sur un pieu

**Autres Outils Logiciels**

- TwinMotion (Epic Games) : communication interne et externe.
- eveBIM (CSTB) : visualisateur de modèles IFC.

**Processus**

il faut bien entendu privilégier la saisie directe des informations directement par les intervenants des différents métiers, et non par le BIM manager. C'est vrai pour les informations de conception lors des phases PRO et EXE. C'est évidemment vrai aussi lors des opérations sur chantier en particulier les processus d'assurance qualité faisant appel à la mise en place de fiches de suivi.

**Résultats**

**Livrables numériques**

- Maquette globale agrégée (pas contractuelle).
- Plans issus des différents modèles de conception.
- Fiches techniques (équipements...).

**Opérations Préalables à la Réception**  
**DOE Numérique**

Contribution très positive au processus d'assurance qualité et de levée des réserves grâce à la solution Dalux.

L'outil de transmission visualisation du DOE numérique a été Kroqi : la maquette se trouve agrégée sous Navisworks avec des liens vers les fiches techniques des matériels et équipements. Ces liens ont été établis sur la base d'une arborescence par systèmes, plutôt que par un lien direct vers une fiche technique, pour faciliter mise à jour et nommage des fiches qui changent de numéro de version à chaque mise à jour. La maquette complète a été exportée au format IFC. Cette maquette est donc disponible dans la plateforme Kroqi et est ouverte à l'aide de eveBIM (Outil de visualisation de modèles IFC du CSTB).

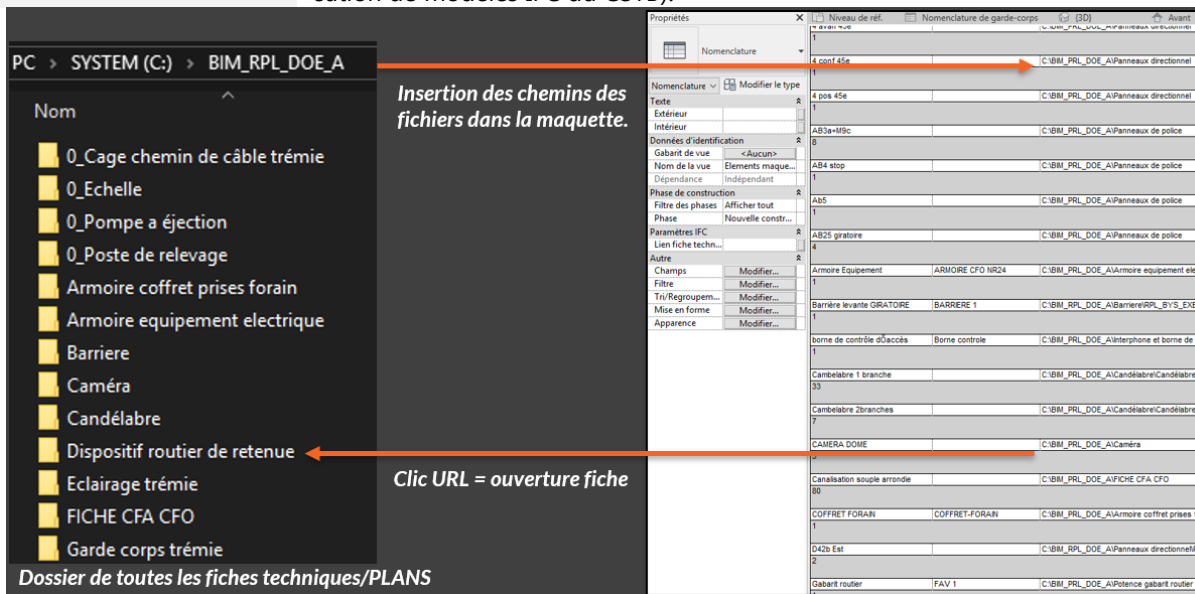


Fig.25 : Préparation du DOE (liens hypertextes entre Navisworks et la plateforme Kroqi)



## CLASSIFICATION AMP

Code	Description	Code	Description
18701	ER000	ENSEMBLE ECLAIRAGE EXTERIEUR	
18702	ER001	ECLAIRAGE ROUTE D'ACCES	
18703		ER001A	ROUTE D'ACCES
18744		ER001B	PANNEAU PREST. DEP. RD PT LAV
18745		ER001C	PANNEAU PREST. ARRI. RD PT LAV
18746		ER001D	ECLAIR. OLIVIERS RD PT DES LAV
18747		ER001E	ECLAIR. CYPRES RD PT DES LAVAN
18748		NER001C	PANNEAU PREST. ARRI. RD PT LAV
18749	ER002	ECLAIRAGE ROUTE BLOC LIMON	
18750	ER003	ECL.ROUTE DE L'ETANG DE VAIN	
18751		ER003A	ROUTE DE L'ETANG DE VAIN
18833	ER004	ECLAIRAGE ROUTE ESSENCIERS	
18834	ER005	ECLAIRAGE ROUTE CENTRALE	
18835		ERSR011A	MAT 1 DQ11 ROUTE CENTRALE
18837		ERSR011B	MAT 2 DQ11 ALLEE CENTRALE
18838		ERSR011C	MAT 3 DQ11 ALLEE CENTRALE
18839		ERSR011D	MAT 4 DQ11 ALLEE CENTRALE
18840		ERSR011E	MAT 5 DQ11 ALLEE CENTRALE
18841		ERSR011F	MAT 6 DQ11 ALLEE CENTRALE
18842		ERSR011G	MAT 7 DQ11 ALLEE CENTRALE
18843		ERSR011H	MAT 8 DQ11 ALLEE CENTRALE

**Classification des éléments de l'AMP**

**Paramétrage revit**

**Nomenclature des éléments**

Fig.26 : Plan de correspondance entre la classification AMP et les attributs des objets dans REVIT

### URL des documents

Propriétés

Nom	Valeur
Name	Cambelabre 1 branche
Description	UNSET
Owner-History	5
Tag	780368
Materials	1
IfcMaterialList	2
Propriétés	4
Matériaux et finitions	2
Données d'identification	8
Nom du type	Cambelabre 1 branche
Description	Massif M10
URL	<a href="#">%SCTEST_FT%SCL ECLAIRAGE EXTERIEUR</a>
Description de l'assemblage	
Code d'assemblage	
Titre OmniClass	
Numéro OmniClass	
Nom de code	
Cotes	2
Hauteur	6 m
Hauteur de la base	0 m
Autre	2
Nom de la famille	Cambelabre 1 branche
Catégorie	Luminaires
Geometry	1
BoundingSphere	2
Center	[1880213.66547527,3140590.630557132,12.5...]
Radius	5,26577899836366

Ouverture de l'IFC de Revit sous eveBIM (CSTB)

### Ouverture des fiches techniques ou PLANS

Nom	Modifié le	Type	Taille
FICHE TECHNIQUE	15/01/2020 17:39	Dossier de fichiers	
ETUDE ECLAIRAGEMENT	19/09/2018 17:39	Adobe Acrobat D...	1 760 K
RPL_RPL_ELE_ECP_NDC_4151_A OPC.d...	21/09/2019 10:15	Adobe Acrobat D...	389 K
RPL_RPL_ELE_ECP_NDC_4151_C NOTE D...	29/09/2019 09:10	Adobe Acrobat D...	3 224 K

Ouverture de la fiche technique grâce à l'URL

Fig.27 : DOE numérique livré à AMP

### Bilan / Enseignements

**Plateforme numérique fiable et robuste mais aussi permettant une gestion des droits d'accès.**

L'exigence de pérennité des informations (accessibilité et mise à jour) pendant toute la durée de vie des ouvrages, supérieure à la durée de vie des éditeurs de logiciels, nécessite d'utiliser une plateforme fiable, robuste, évolutive, sécurisée et ouverte. Cette nécessaire ouverture - formats standardisés - ne signifie pas de faire l'économie d'une gestion méticuleuse des droits assurant la maîtrise de la souveraineté des données.

<p><b>Les décisions de Structuration / Classification doivent être prises dès l'amont du projet</b></p>	<p>De ce point de vue, il est bien préférable d'avoir une plateforme proposée par la MOA, l'exploitant ou le mainteneur, qui assurera ainsi par construction la cohérence avec autres projets et autres logiciels utilisés (GMAO par exemple). C'est là une vision très forte du Maître d'ouvrage telle qu'il nous l'a exprimée lors d'une réunion d'échange avec le groupe de travail MINnD, une vision pouvant s'apparenter à l'usage, au niveau du gestionnaire d'une infrastructure complexe, faite de multiples projets successifs, d'une solution <i>a minima</i> de type PLM.</p> <p>Les logiques de structuration et de classification doivent intervenir très à l'amont du projet par le Maître d'ouvrage en considération des besoins des exploitants et mainteneurs (modèles d'informations patrimoniales) et être ensuite complétées selon les choix conceptuels et de construction faits par les maîtrises d'œuvre et les constructeurs. Les mappages en cours de projet, ou modification de découpage sont en effet très coûteux en temps voire impossibles sans remettre en cause des choix procéduraux antérieurs (processus BIM très impacté par changements en cours de phase de réalisation !).</p> <p>Ces logiques sont à définir en considération des normes ou standards existants.</p> <p>Et il est important d'intégrer toutes les prescriptions dès le début (attributs attendus), même si tout ne se trouvera pas renseigné avant bien plus tard dans le processus.</p>
<p><b>Les outils de Validation / Qualification décentralisés sont indispensables</b></p>	<p>L'usage d'outils de validation et de qualification des informations est recommandé pour vérifier la conformité avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les exigences du programme,</li> <li>• Le Tel que Conçu,</li> <li>• Les tolérances telles qu'elles ont pu être définies dans les pièces techniques du marché.</li> </ul>
<p><b>Responsabilités séparées des intervenants BIM et des intervenants métier</b></p>	<p>Ils permettent en effet la saisie au fil de l'eau (et pas en fin de projet) par les responsables métiers épaulés par topographes (pour géolocalisation et mesures précises). Cette saisie est la seule à être économe en temps et elle est également bien plus fiables. Mais, bien sûr, elle impose d'avoir des ressources humaines suffisantes sur les chantiers : l'énergie nécessaire pour renseigner et mettre à jour les informations TQC est importante, elle est au moins du double à procéder en fin de chantier voire impossible pour assurer fiabilité et justesse.</p>
<p><b>Aucun résultat relatif au DIUO</b></p>	<p>L'équipe de BIM Management n'est pas responsable des valeurs des propriétés des objets. Celles-ci doivent rester de la responsabilité des acteurs métier.</p> <p>Du point de vue du DIUO qui répond aux exigences du code du travail, aucun résultat n'a été obtenu, alors qu'il aurait été intéressant de compléter la maquette et les informations avec les procédures d'intervention ou de changement des équipements. Mais c'est souvent là une question dans laquelle il est nécessaire de faire intervenir un autre intervenant : le coordinateur SPS et c'est là une difficulté supplémentaire alors que l'information de base est entre les mains de la Maîtrise d'œuvre et de l'Entreprise.</p>

## 4.4 Validation conception et modèles

### Design checking

Le design checking vise à assurer la fiabilisation d'une étude et de la donnée vis-à-vis :

- De son exigence métier.
- De la réglementation en vigueur.

C'est le domaine des ingénieurs. Chaque intervenant vérifie que sa conception est conforme aux règles de l'art et aux règles et normes du donneur d'ordre.

Cette vérification est progressive et adossée à la norme ISO 19650 qui prescrit des vérifications par sas de type : contrôle, revue et approbation.

L'illustration qui suit est une interprétation de la norme et des acteurs impliqués pendant une phase de projet donnée, actuellement en place chez SYSTRA.

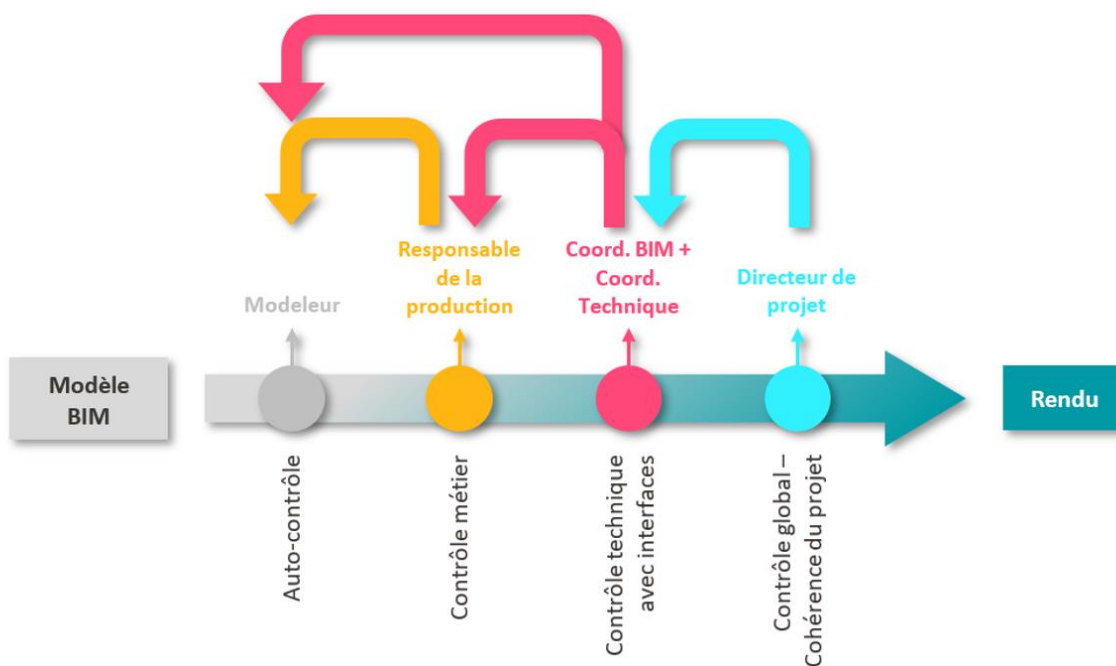


Fig.28 : Processus de design Checking SYSTRA

### Validation propriétés (attributs)

La validation des propriétés des objets (attributs) concerne l'exactitude métier des valeurs saisies.

Les besoins et les règles concernant le renseignement des attributs sont définis dans les documents de cadrage du projet BIM :

- Cahier des charges BIM
- Convention BIM
- Plan de mise en œuvre du BIM

Exemple de tableau de définition des attributs :

OBJETS MODELISES	CLASSES IFC	PARAMETRES	TYPES DE PARAMETRES / UNITES
Fondations / Radiers	IfcFooting	ID	nombre
		Catégorie	texte
		Famille	texte
		Type	texte
		Uniformat II	nombre et texte
		Genre (nature de l'objet)	texte
		Rôle	texte
		Dimensions	mm
		Matériau	texte
		Ratio de ferrailage	kg/m3
		Référencement feuille de calcul	n°/texte
		Référencement carnet de ferrailage	n°/texte
		Lien plan coffrage	URL
		Lien plan ferrailage	URL

Ces contrôles / validation sont à réaliser par les ingénieurs et les experts de chaque disciplines métiers (structure, MEP, architecture, etc.) et ne peuvent pas être de la responsabilité du BIM manager.

Les experts métiers réaliserons les contrôles en s'appuyant sur la documentation du projet et les constats réalisés lors de l'exécution des travaux :

- Plans BPE
- Demandes d'agrément
- Constats de chantier
- Bon de livraison
- Documentation technique fournisseurs
- PV des différents certificats de garantie des appareils et matériels

De manière opérationnelle et afin de faciliter ces différents contrôles, il est recommandé d'extraire les datas des modèles dans un format tableur et de filtrer les données afin de les adresser aux spécialistes métiers concernés.

Les écarts et erreurs constatés seront annotés dans les formats de tableur par les ingénieurs. Les tableurs annotés seront ensuite réinjectés dans les maquettes pour transmission aux responsables des corrections.

Les outils de traitement des données de type Microsoft Power BI ou Tableau Software permettent d'optimiser le contrôle et la validation des propriétés grâce notamment à :

- L'automatisation du filtrage des données,
- Le croisement dynamique des données,
- La visualisation graphique des données.

**Exemple de design Checking**

Dans l'exemple ci-dessous, les données des modèles ont été extraites au format Excel puis traitées avec Power BI afin de :

- Filtrer les principaux objets par disciplines métiers,
- Regrouper les attributs selon leur nature dans des groupes d'attributs,
- Associer les groupes d'attributs et les disciplines métiers.

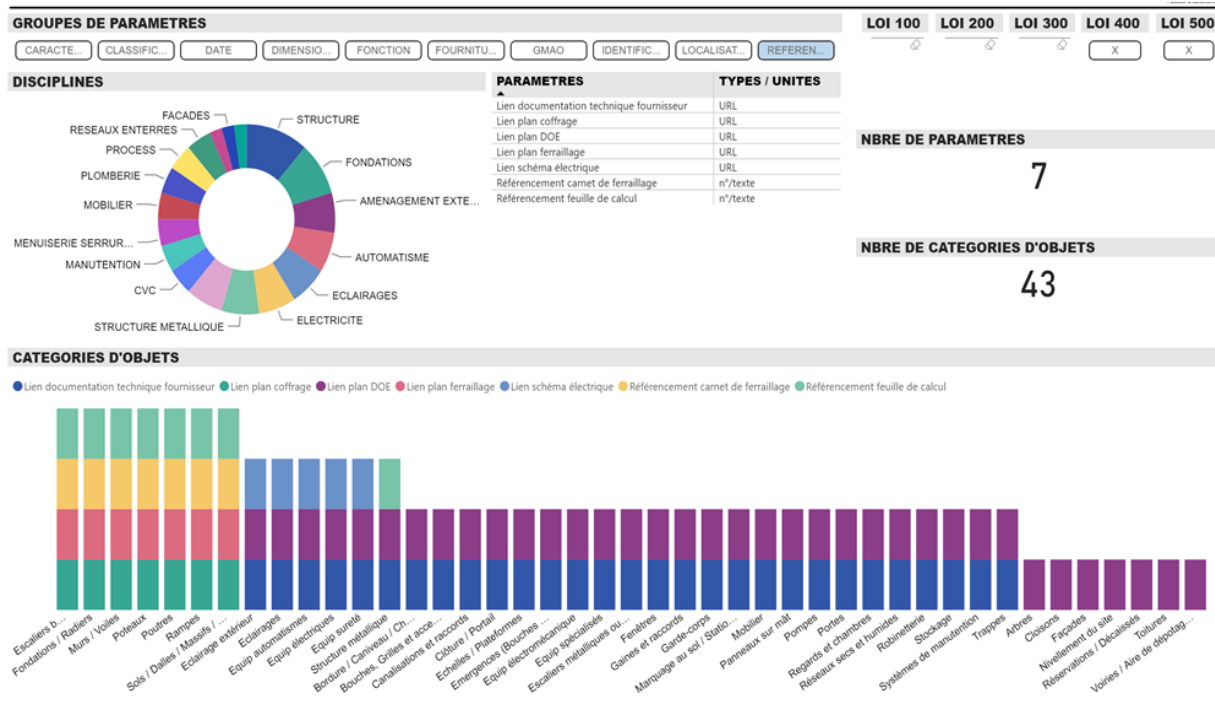


Fig.29 : Association et visualisation dynamique des attributs (paramètres) par objets / disciplines / groupes d'attributs

**Model checking**

La mise en œuvre de cet outil de gestion des datas a permis :

- D'assigner les contrôles aux personnes compétentes
- De réaliser les différents contrôles métiers de manière concomitante et réduire les temps de validation
- D'assurer un contrôle exhaustif de l'ensemble des attributs pour l'ensemble des objets

Dans la continuité du Design Checking, le Model checking s'attelle à la fiabilisation des modèles numériques.

La donnée est conforme et correcte vis-à-vis de la charte numérique du projet.

C'est le domaine de l'équipe de BIM management.

Ce contrôle permet alors :

- D'intégrer la donnée dans la maquette numérique globale.
- De la confronter aux autres modèles en interface.

Le Model Checking est la capacité de vérifier la structuration des maquettes, en dehors des considérations métiers, suivant les prescriptions faites dans tout document décrivant des attendus BIM :

- Charte. (Vérifications sous la responsabilité d'un AMO BIM)

### Donnée conforme (au regard du BEP)

- Cahier des charges. (Vérifications sous la responsabilité d'un AMO BIM)
- Convention, protocole ou BEP (Plan d'exécution du BIM). (Vérifications sous la responsabilité d'un BIM Manager)
- Charte de modélisation. (Vérifications sous la responsabilité d'un BIM Manager et/ou d'un BIM Coordinateur)

Le Model Checking n'est à ce jour pas entièrement automatisable, dans la mesure où l'on vérifie :

- Les bonnes pratiques dans l'utilisation d'un outil logiciel.
- Le niveau de détail géométrique.
- La structuration des modèles.
- La présence et la structuration d'une donnée mais pas nécessairement sa justesse.

Une partie de ce contrôle est, de fait, visuel.

Le Model Checking fait partie du contrôle qualité à mettre en place sur un projet et doit être décrit dans la convention BIM ou le Plan d'Exécution BIM (PEB).

Une part importante du Model Checking concerne la conformité au regard du Plan d'Exécution BIM.

À ce titre, cette vérification doit suivre l'organisation de ce document et **faire référence aux chapitres concernés** pour chaque point de contrôle.

Cette « fiche d'audit BIM » doit faire partie des annexes du BEP et rendre consistante la gestion des modèles et des données.

Ces points de **contrôle sont progressifs**. En démarrage de phase EXE, on pourra vérifier les points les plus fondamentaux comme le géoréférencement puis consolider par la suite des contrôles secondaires, comme la complétude de certaines informations.

**Exemples de progressivité** des attendus en phase EXE, suivis sur la fiche de conformité de chaque modèle :

- Démarrage (restructuration des modèles du dossier marché)

La première étape, en démarrage de phase EXE consiste à structurer le découpage des modèles directement en conformité avec les attendus du DOE ou si nécessaire en passant par un découpage calquant l'allotissement des entreprises. Ce découpage est à la fois systémique et géographique.

Pourront être vérifiés à cet étape les unités utilisées par les modèles ainsi que les formats de fichier attendus et devant garantir l'interopérabilité des échanges, ou encore le nom des fichiers.

- Bon pour Synthèse (Coordination spatiale possible)

La synthèse BIM est rendue possible sous certaines conditions :

- La vérification du géoréférencement des modèles.
- La vérification des informations de localisation tels que projet, sous-projet, zone, point kilométrique.
- La vérification des informations concernant la typologie des éléments tels que le métier ou la discipline ou le groupe correspondant généralement à un niveau de classification.
- La vérification de l'émetteur.

- Bon pour VISA

- Présence de l'information métier. Cette information métier dépend du Project Information Model (PIM) mis en place.

- Présence des livrables de projet et de la métadonnée associée.
- Bon pour DOE (conformité au TQC, complétude de la donnée attendue).

La vérification du DOE, ultime étape de fiabilisation du modèle numérique, est décrite dans le chapitre à suivre sur la validation des modèles TQC.

En plus des livrables et des documents associés à la maquette numérique, des points de contrôle sont à prévoir concernant :

- La vérification géométrique des ouvrages, rapportée pour chaque typologie à une tolérance.
- La vérification de la donnée relative à un Asset Information Model (AIM) si exigée au cahier des charges BIM.

Ces vérifications de modèle, conformément au processus décrit au premier chapitre, sont menés parallèlement à la validation métier.

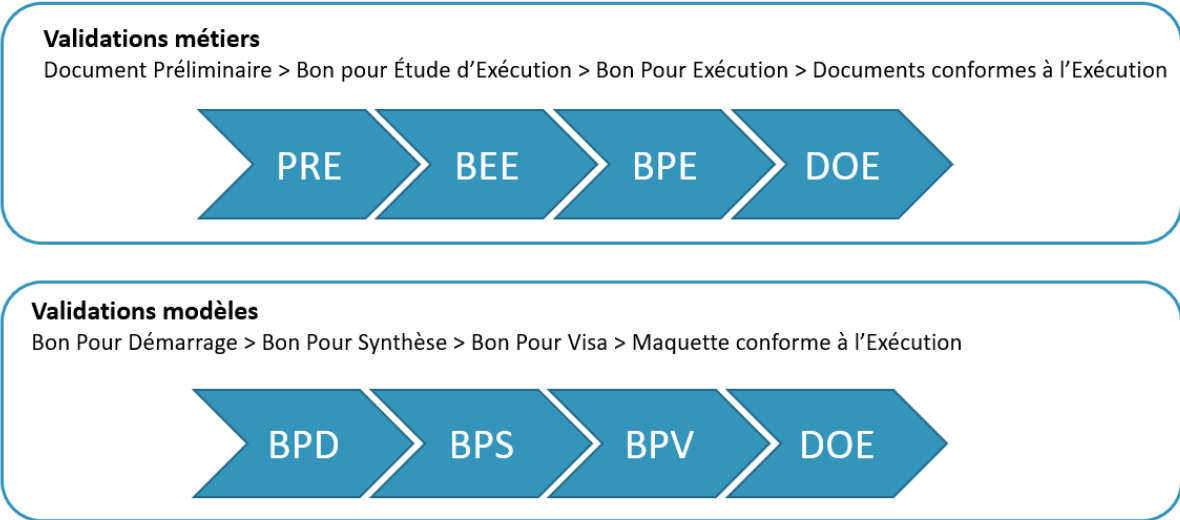


Fig.30 : Parallélisme entre validation métier et validation des modèles

**Format de validation** La validation des maquettes numériques, de leurs propriétés et de leurs attributs peut être réalisée depuis le fichier natif ou le fichier IFC. De fait, un format permettant la lecture de données sémantiques est obligatoire.

Concernant la validation du nommage, les principes de vérification que nous décrivons sont similaires malgré les différences de format. Les classes d'objet sont différentes mais les propriétés et attributs sont identiques.

Concernant le géoréférencement, chaque outil présente des différences notoires sur lesquelles nous passerons rapidement.

Nous décrivons plus précisément le principe de vérification du géoréférencement d'un IFC, nous permettant d'asseoir la coordination spatiale quel que soit le format du fichier natif.

**Validation nommage** La validation de nommage est l'un des points clés dans le plan d'assurance qualité d'un projet et la fiabilisation du DOE BIM.

Cette validation s'opère à deux niveaux :

- Les informations générales du projet comme :
  - Le nom et le format du fichier.
  - Les informations ou les unités du projet.
- Les attributs rapportés à des classes d'objet précises comme :

Validation géoréférencement

IFC et Géoréférencement

- Le Nom et l'Altimétrie d'un niveau.
- La Zone ou le Marché concerné par un objet donné.

Cette validation est réalisée à l'aide de règles de vérification associées aux propriétés des objets. Ces règles de vérifications sont multiples et nous pouvons vérifier par exemple le nombre de caractères d'un attribut, s'il contient, commence ou finit avec un caractère donné ou encore s'il appartient à une liste.

La liste présente la meilleure garantie de respect d'un schéma de données mais n'est pas toujours envisageable.

Afin de vérifier le nom d'un attribut, en dehors d'une liste, il est possible d'écrire des règles de vérification complexes et d'associer plusieurs vérifications à la suite :

- Vérification du nombre de caractères.
- Vérification des caractères autorisés.
- Autre.

Il est également possible de vérifier simplement que l'attribut a été renseigné en dehors de toute autre forme de vérification.

Ce schéma de données peut être illustré dans une table qui sert de point d'entrée à toute validation de nommage :

- Exemple de validation par une liste :

Classe d'objet : Niveau

Attributs	Règles de vérification
Nom du niveau	[S7;S6;S5;S4;S3;S2;S1;N0]
Altimétrie du niveau	[56,33;59,63;60,02;62,77;67,57]

- Exemple de validation par une succession de règles :

Classe d'objet X ou Y

Attributs	Règles de vérification 1	Règles de vérification 2
Attribut X	*0*	/^[0-9]{5}/g
Commentaires	La valeur contient « 0 »	5 digits numériques

Il apparait à l'issue de ces explications qu'une vérification par liste est plus précise qu'une succession de règles, même complexes.

Par conséquent, il est important, de penser le schéma de données de façon précise, en amont des projets et de l'annexer au Plan d'Exécution BIM.

La validation du géoréférencement représente le premier défi des projets menés en maquettes numériques.

Ce géoréférencement est complexe, d'une part, car les méthodologies diffèrent en fonction des logiciels utilisés et d'autre part car l'ensemble des modèles doivent être fédérés au format IFC, attendu dans le cadre du DOE BIM.

Dans ce contexte nous proposons d'expliciter la manière dont le format IFC 2x3 gère le géoréférencement afin de générer des exports corrects pour in fine proposer une méthode de vérification

Pour mémoire les fichiers IFC ont une structuration spatiale imbriquée :

- IFC SITE > IFC BUILDING > IFC BUILDING STOREY > objets

La balise IFC SITE représente l'origine absolue du fichier IFC.



Lorsque que l'on cherche cette balise, on trouve alors une référence à son IFCCARTESIAN-POINT qui représente l'origine du projet, à savoir son décalage relatif par rapport à l'origine absolue. Cette balise est relative à la balise IFCBUILDING.

IFCDIRECTION est le point (x,y) permettant d'établir l'orientation nord du projet.

Chaque objet constitutif du modèle numérique dispose de points géométriques définis relativement par rapport à l'origine projet contenu dans l'IFCBUILDING.

Il en découle les informations suivantes :

- Pour comparer deux points dans deux fichiers IFC il est nécessaire d'additionner les valeurs de l'IFCCARTESIANPOINT de l'IFCBUILDING et de l'IFCCARTESIANPOINT de l'objet afin d'obtenir des valeurs absolues comparables.
- Il est donc utile de positionner un objet commun aux fichiers de l'étude, dont la géométrie est simple, afin de pouvoir calculer une position absolue et de la comparer avec la valeur de référence.

Les légères déformations géométriques à l'export nécessitent une tolérance de l'ordre du centimètre.

### Requirement checking

#### Exemple de Model Checking

La donnée est intégrée et correcte vis-à-vis de la performance globale de l'infrastructure une fois les éléments intégrés dans le modèle global.

Ce domaine est de la responsabilité de l'équipe technique de projet ou du directeur technique, afin que celui-ci puisse être le garant de la performance de l'ensemble.

L'exemple ci-après montre l'outil eLODy développé par SYSTRA afin de faciliter la tâche du Model checking par essence chronophage. La fiabilisation des modèles de données devenant essentielle, cet outil permet de vérifier par itération la complétude de la base de données et d'en apporter la preuve.

L'outil eLODy permet :

- L'automatisation du processus de vérification sur la production de grands projets BIM,
- La réduction du temps de vérification d'un modèle BIM de plusieurs heures à quelques minutes,
- La standardisation des maquettes et mise en œuvre de processus OpenBIM grâce aux formats IFC (ISO 16739) et BCF,
- L'accessibilité de la solution et de l'information,
- L'amélioration de la qualité de la conception.

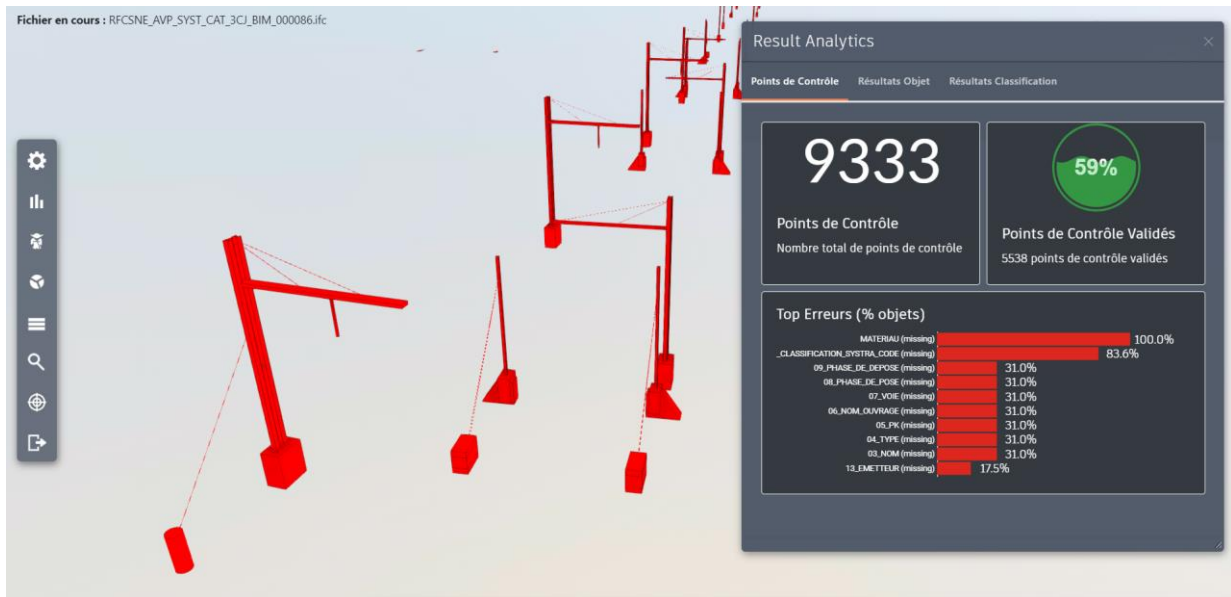


Fig.31 : Model Checking eLODy, Étude caténaire SYSTRA, les dix erreurs les plus importantes



Fig.32 : Model Checking eLODy, Étude caténaire SYSTRA, vérification spécifique d'une classification appliquée

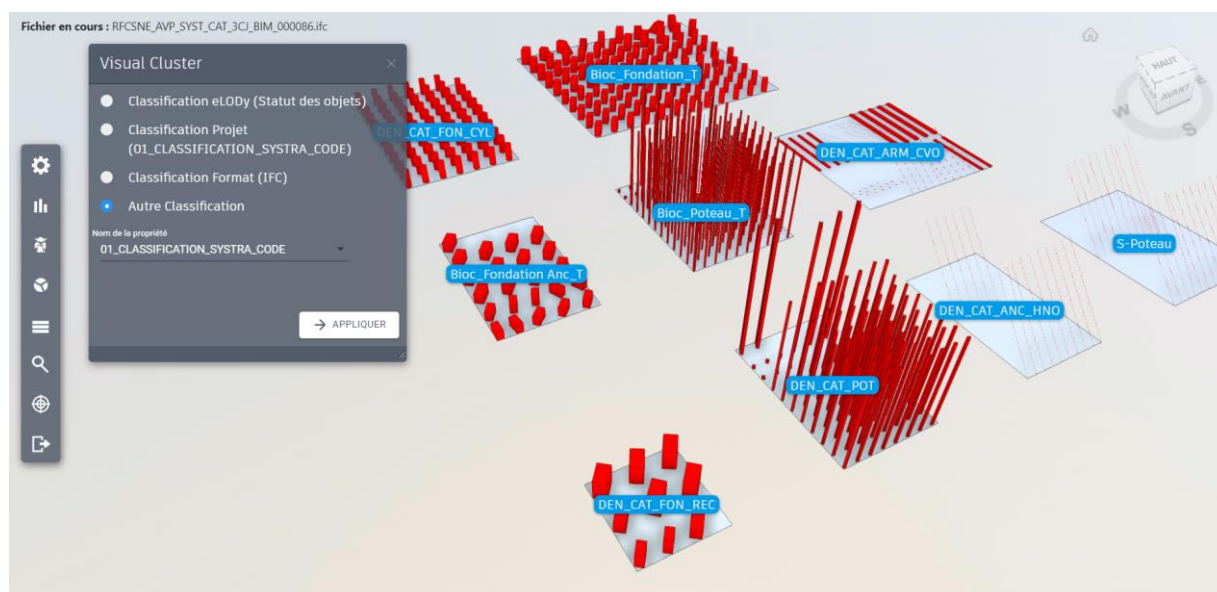


Fig.33 : Model Checking eLODy, Étude caténaire SYSTRA, Répartition du modèle par propriété pour vérification géométrique visuelle

## 4.5 Processus de Validation Progressive d'une Maquette

### Préparation Modèles à valider

La validation des maquettes, en vue d'aboutir au DOE BIM, est un **processus de contrôle qualité progressif**.

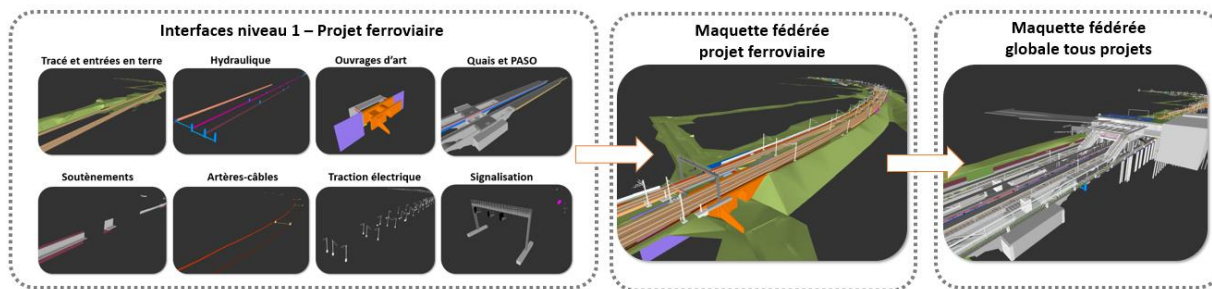
Afin de faciliter ces vérifications itératives, une mise en place rigoureuse est de mise dès les phases amonts du projet.

L'objet de cette partie est de détailler comment, tout en respectant les grands principes de « Design Checking » et « Model Checking » de qualité exposés précédemment [Validation conception et modèles](#) (chapitre 4.4) l'on peut progressivement aboutir à des maquettes « DOE ».

**Principe de validation centrifuge depuis les validations métiers jusqu'aux validations d'intégration progressive**

À l'inverse d'une revue de conception qui s'attache à étudier un projet dans ses grands principes avant d'en concevoir les détails, le processus de validation de maquette s'attelle à la vue métier avant d'élargir la vérification aux différentes interfaces. C'est pour cette raison que l'on peut qualifier le contrôle et la validation des maquettes de processus centrifuge. Elle hérite de tous les travaux antérieurs de validation des maquettes (cf. chapitre [Préconisations pour un processus VISA en BIM](#)). Elle utilise les mêmes processus déjà détaillés antérieurement comme [Préparation points de vue](#) et [Préparation des sélections](#). Elle fait appel aux mêmes outils introduits dans [Outils de navigation au sein des modèles](#). Voir illustration ci-après.

Cette vision est à rapprocher des statuts des données (cf. [Statuts d'examen](#) et [Statuts d'avancement](#)) et de la structuration d'un CDE traités au paragraphe [Statuts des données](#) ci-après. La question du CDE fait d'ailleurs l'objet d'un livrable spécifique par un autre groupe de travail.



Exemple de validation et coordination progressive sur projet ferroviaire

**Traiter différemment les exigences de moyens (au début des opération) et de résultats (à réception des matériaux et des ouvrages individuels)**

Les exigences en matière de qualité se traduisent soit sous forme d'exigences de résultats ou de performances soit sous forme d'exigences de moyens.

De façon générale, les exigences de résultats ou de performances sont relatives :

- À la qualité des constituants et de leur mise en œuvre ;
- À la qualité des différents ouvrages et équipements mis en œuvre ;
- Au respect des tolérances géométriques, le cas échéant.

Les exigences de moyens feront, elles, l'objet d'un contrôle au démarrage de la production et en cours de production : les acceptations préalables des produits, de fournitures de matériaux, des matériels, des ateliers, de méthodes et de dispositions pratiques sont préalables au démarrage des travaux concernés. Le contrôle des conditions de mise en œuvre sont effectuées en cours de production.

**Contrôle en phase chantier**

**Établir des points critiques et des points d'arrêt**

Les contrôles de conformités peuvent être formalisés sous la forme de points critiques ou points d'arrêts.

- Les points critiques : point sensible pour lequel il a été décidé d'effectuer un contrôle intérieur de la part de l'Entreprise, le Maître d'œuvre étant formellement informé du moment de son exécution et/ou de son résultat,
- Les points d'arrêt : point clef pour lequel un accord formel du Maître d'œuvre est nécessaire à la poursuite de l'opération.

**Contrôles topographiques**

Les contrôles topographiques permettent de fiabiliser la géométrie des ouvrages, ainsi que leur implantation sur site.

Ces contrôles se font avant et après réalisation, par des géomètres.

Ces contrôles font souvent partie de points critiques ou points d'arrêt selon l'avancement du chantier.

**Essais laboratoires et in-situ**

Les exigences de résultats ou de performance peuvent être relatives à la qualité des constituants des matériaux utilisés et de leur mise en œuvre. Il est donc nécessaire de faire réaliser des essais en laboratoires ou in-situ.

Les contrôle de conformité concerne de manière non exhaustive :

- Les essais en laboratoire concernant les caractéristiques des matériaux (Exemple : Granulométrie, Proctor, Arrachement de scellement, Résistance de béton, etc.)

#### Validation de fiches produits homologués :

- Essais In situ permettant de connaître les performances des matériaux tel que mis en place, ou sur le point d'être réalisés sur site (Portance, Slump, Teneur en eau, etc.)
- ...

Il est rappelé que les essais sont réalisés conformément aux normes en vigueur.

La fourniture des produits, matériaux fournisseurs ou équipements doit être conforme aux prescriptions réglementaires et normes en vigueur.

Si les produits sont certifiés par un organisme certificateur français ou européen, il est rappelé que le produit mis en œuvre possède alors un marquage NF ou CE.

Remarque : la plupart des essais permettant les mesures des caractéristiques des produits apparentés sont normalisés au niveau français, européen ou international.

#### Fiche d'agrément de matériaux

Les produits sont ensuite soumis à l'acceptation du Maître d'œuvre à l'aide de Fiche d'agrément de matériaux

Le contrôle des produits livrés sur chantier comprendra :

- Validation de la fiche d'agrément de matériaux

L'acceptation sera prononcée après simple vérification de la concordance des spécifications et des valeurs des caractéristiques portées sur le certificat, la fiche technique des produits, ...

Le contrôle de conformité s'appuie donc sur :

- Le marquage CE, Dossier technique de certification, Attestation droit d'usage NF, Circulaire et annexes technique' d'homologation
- Les attestations de conformités des matériaux provenant de l'extérieur : leur constitution, leur formulation, dosage,...
- Les résultats des essais réalisés sur le produit et leur conformité aux valeurs normatives

- Le contrôle complémentaire par échantillonnage :

Le Maître d'œuvre pourra procéder au contrôle d'une ou plusieurs caractéristiques des produits apparentés.

L'entrepreneur devra dans ce cas lui permettre de prélever de façon aléatoire des échantillons nécessaires sur le produit et choisis par le Maître d'œuvre.

Si les résultats des contrôles des caractéristiques ne sont pas dans les plages de variation des valeurs annoncées par le producteur/fournisseur sur le certificat du produit, les produits seront refusés et évacués du chantier.

Le contrôle de conformité concerne de manière non exhaustive :

- Respect des tolérances des normes NF ou du dossier d'agrément CE
- Respect des spécifications techniques particulières du projet.

#### Test de fonctionnement et de mise en service

Les tests de fonctionnement et de mise en service concernent principalement les éléments fonctionnant en réseaux ou en systèmes comme par exemple, le réseau électrique, d'eau potable, ou le réseau des équipements d'exploitation d'une infrastructure.

Ils comportent souvent des schémas fonctionnels qui permettent de décrire l'architecture du réseau et ses différents composants ;

Le système qui fait l'objet du contrôle doit être fiable, maintenable, disponible et sécuritaire.

Le contrôle de conformité concerne de manière non exhaustive :

- Les essais de contrôle de réception ;
- Les essais de mise en service avec les services d'exploitations;
- Test d'épreuve et tests de performance

### Contrôle en lien avec la maquette BPE

La maquette numérique issue du VISA BPE, contient des informations et une géométrie qui généralement n'est pas conforme à ce qui est réellement réalisé, pour les raisons suivantes :

- Écarts géométriques dues aux contraintes chantiers, avec soit des non-conformités, soit des écarts acceptables dans les tolérances d'exécution
- Écarts sur la nature des matériaux et équipement, qui peut s'expliquer par des problèmes de fourniture, ou par des adaptations des entreprises en maintenant la même qualité et performance
- Informations non renseignées car dépendant de la réalisation : (Valeurs effective des caractéristiques, Modèle exact des équipements, etc.)

Ceci implique que la maquette numérique qui permet d'avoir un DOE numérique doit passer par un processus spécifique entre le VISA et la réception, afin d'être conforme à ce qui a été réalisé.

### Prérequis à ce contrôle et besoins des exploitants

Afin de réaliser ces adaptations, il est nécessaire d'avoir les prérequis suivants :

- Prescriptions du MOA (Exploitant/Mainteneur) sur les besoins en données pour l'exploitation et la maintenance des équipements et ouvrages :
  - Liste des données souhaitées pour la phase Exploitation/Maintenance.
  - Structuration des données.
  - Format des données.
  - Tolérance pour les éléments selon la typologie des systèmes.
- Mise en place d'un processus dans la convention BIM d'intégration des données du DOE numérique :
  - Méthode d'alimentation de la maquette numérique DOE.
  - Outils pour la maquette numérique DOE.
  - Processus de liaison des retours chantier avec la maquette numérique ou une base de données annexe.
  - CCTG (Informations sur les dispositions techniques applicables au projet – Comme les tolérances Mise à jour selon écart aux tolérances).
  - Processus de livraison et d'intégration du DOE numérique chez l'exploitant mainteneur.
  - LM : BDD parallèle avec des Datas complémentaires + surcouche COBIE le PLM pilote avec un identifiant unique dans la Cobie + Géo.

Par ailleurs, une mise à jour de la géométrie de la maquette numérique doit être réalisée afin d'être conforme à ce qui est réalisé selon la tolérance type de système/équipement.

Pour cela, il peut être utile de se baser sur les méthodes suivantes :

- Intégration des contrôles de topographie dans la maquette numérique, en déplaçant les objets ou en modifiant certaines géométries comme le modèle numérique de terrain.
- Superposition de nuages de points pour certains ouvrages ou équipements ponctuels, et mettre à jour la géométrie de la maquette numérique.

D'autres méthodes peuvent être proposées par l'équipe projet, dans l'objectif d'obtenir une géométrie en 3D conforme à la réalisation.



**Rôle du BIM Manager**

Le BIM Manager porte **un rôle lié à la méthode et à la qualité** autour des outils de production et des maquettes numériques qui en sont issues.

Il porte une connaissance fine des **exigences d'ordre numérique liées aux chartes BIM et aux cahiers des charges BIM** qui en découlent. Il traduit les exigences de la maîtrise d'ouvrage en méthodes opérationnelles décrites dans la convention BIM.

Il vérifie la **bonne application de la méthodologie** et des exigences opérationnelles sur l'ensemble de la production liée au projet.

**Sous peine de voir sa responsabilité requalifiée** en y incluant celle de constructeur, le BIM Manager ne peut ni ne doit pas porter d'appréciations techniques relevant des métiers de la construction techniques sur le projet et n'intervient pas dans la vérification de la conception (Design checking).

En phase de réalisation, les rôles du BIM Management et de la Synthèse sont très complémentaires. Cependant la synthèse est une activité technique de la construction qui entraîne la responsabilité de constructeur. C'est là une difficulté à ne pas sous-estimer.

**Structuration modèles**

La structuration des modèles est capitale dans la mesure où elle structure à la fois la méthodologie de travail durant les études mais également la structuration des actifs pour une éventuelle entrée en périmètre de Gestion Exploitation et Maintenance.

Cette structuration dépend donc du périmètre d'étude du projet et d'un éventuel modèle d'information des actifs (AIM) partagé par la maîtrise d'ouvrage. L'un des objectifs du DOE BIM en phase avec la norme ISO 19650 est bien **la production et la livraison d'un modèle d'information** conforme à des exigences.

Le périmètre d'action des MOE et des entreprises sur la production et la fiabilisation des données se concentre sur l'AIM et le PIM.

Figure 2 — Simplified illustration of the progression of information requirements

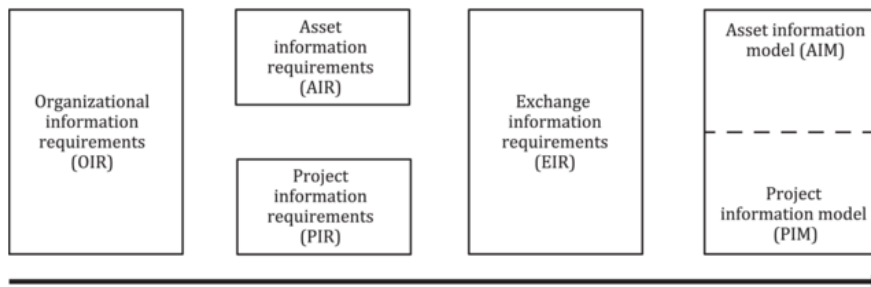


Fig.34 : ISO 19650, progression des exigences en matière d'information

**Agrégation modèles**

L'agrégation des modèles ou maquette fédérée permet à la fois d'opérer la coordination de projet (synthèse, gestion des interfaces) et de valider la cohérence générale de l'information.

**Cette agrégation permet de vérifier la structuration des modèles et de l'information sur l'ensemble des actifs compris dans le périmètre du projet.**

La structuration de l'information est ici capitale car elle définit les sélections utiles aux détections de conflits. Le processus de Model Checking passe donc bien par une fiabilisation continue de l'information contenue dans les maquettes numériques.

**Détection conflits et incohérences (model checking)**

Deux outils déjà décrits sont à disposition afin d'améliorer la qualité du pro et :

- La coordination visuelle cf. [Préparation points de vue](#) (chapitre 3.3).

Elle suffit à résoudre de nombreux cas rendus évidents par l'usage des maquettes numériques moins abstraites que les documents techniques.

- La détection de collisions cf. [Model checking](#) (chapitre 4.4).

Elle permet d'automatiser et de systématiser par deux jeux de sélection et des valeurs de tolérance, la vérification des interfaces.

La détection de collisions est donc dépendante de la bonne structuration des modèles et des actifs.

Il est possible de suivre le nombre de collisions par sujet afin de les quantifier au fil du temps.

Les sélections utiles à la détection de collision sont référencées dans une matrice à double entrées. Les actifs du projets découpés selon les besoins et les périmètres peuvent être complétés par des projets connexes.

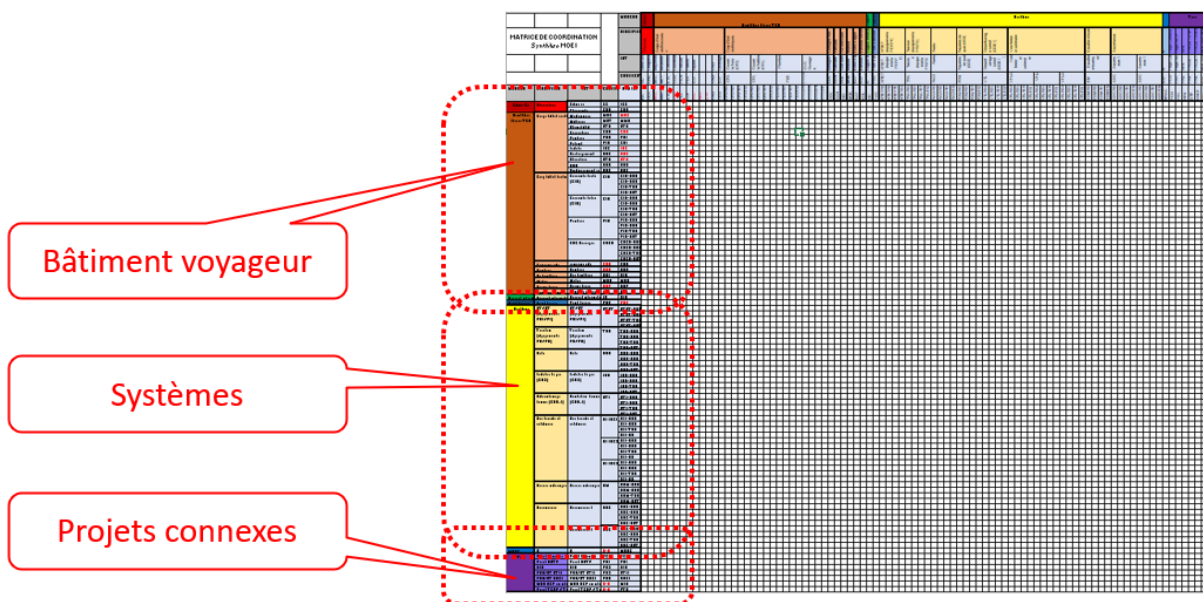


Fig.35 : Matrice de collisions de la ligne 15 sud – Grand Paris Express

**Planification Revues** L'organisation des revues est un cycle itératif dont la période dépend de la taille de projet. Ce cycle de revues peut être planifié une fois tous les quinze jours permettant ainsi une semaine de travail pour les reprises et une semaine de travail pour la préparation des revues en séance.

Il est intéressant de noter que les revues ont tendance à s'accélérer au fur et à mesure que les méthodes sont assimilées par les équipes. Pour plus de détails sur ces aspects, le lecteur est appelé à se reporter au livrable de saison 1 sur la revue numérisée de projet.

Le travail en maquette permet de s'affranchir des échanges papiers et de tendre vers l'ingénierie concurrente.

**Compte-rendu** Les comptes-rendus des décisions prises en séance sont partagés auprès des équipes de conception pour la reprise des modèles suivant le calendrier défini.

Ces comptes-rendus peuvent bénéficier des points de vue issus des maquettes (images ou BCF) ou du fichier annoté contenant les maquettes fédérées.



<b>Revue de maquette</b>	<p>Les plateformes collaboratives permettent enfin de partager en temps réel les remarques et décisions afin d'optimiser le processus de mise en qualité.</p> <p>La revue de maquette s'attache à la vérification des exigences BIM liées à la qualité des modèles. Ces revues de maquettes sont détaillées dans le chapitre <a href="#">Model checking</a> (Chapitre 4.4).</p>
<b>Revue de conception</b>	<p>La revue de conception est liée au projet sans considération pour la qualité numérique de la maquette ou la structuration des informations.</p> <p>La revue de conception doit être définie tant les sujets de mise en qualité sont nombreux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revue des exigences.</li> <li>• Revue règlementaire.</li> <li>• Revue de coordination/Synthèse/interfaces spatio-temporelles.</li> <li>• Revue sur les choix techniques.</li> <li>• Autres thématiques.</li> </ul>
<b>Gestion des incohérences</b>	<p>La gestion des incohérences est une priorité pour la fiabilisation de l'étude et la sécurisation de sa construction. Les incohérences sont la cause de retard de commande, de reprises de constructions coûteuses et in fine se retrouvent dans les modèles numériques livrés dans le cadre du DOE.</p> <p>L'une des responsabilités du BIM Manager est d'arriver par tous les moyens disponibles à la fiabilisation des modèles géométriques et des informations contenues.</p>

## 4.6 Du DOE aux modèles d'information d'actif et de l'exploitant

<b>Les normes et modèles d'information, la nécessité d'un Environnement Commun de Données</b>	<p>Les projets traités avec une démarche BIM génèrent un grand volume d'informations.</p> <p>La norme ISO 19650, définit l'obligation de disposer d'un Environnement de Données Commun (EDC / CDE en anglais pour Common Data Environment) pour produire, collecter, gérer, partager et publier non seulement des documents de projet mais également l'information utile au projet ainsi qu'à la Gestion, Exploitation &amp; Maintenance (GEM).</p> <p>Cette norme est à l'origine d'un changement dans la vision et la gestion des projets de construction. Nous passons peu à peu d'une vision centrée sur la documentation CAO (fichiers) à une vision centrée sur la donnée.</p> <p>Pour autant, à ce jour, cette norme reste complexe à déployer. Relative à l'ensemble du cycle de vie d'un ouvrage, <b>son respect suppose la mise en œuvre d'un CDE composé d'une collection de plateformes</b> répondant aux différents besoins d'échange et de collaboration couvrant les disciplines des intervenants et leurs évolutions dans le temps.</p> <p>En effet, la réalité des projets tend à montrer que les flux de travail doivent être coordonnés successivement sur les CDE de la MOE, des entreprises, de la MOA, puis des mainteneurs et exploitants.</p> <p>Cette norme fait une place importante à la gestion de l'information pour l'exploitation et la maintenance des ouvrages. Le cycle de gestion de la donnée dont la norme fait mention, démarre pour un projet, avec le partage dès la gestation d'un projet par la MOA, voire du Propriétaire de son Assets Informations Model (AIM). Ce partage est à l'heure</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Distinguer les modèles d'information du patrimoine (asset) AIM & du projet PIM**

actuelle encore trop rare et ne permet pas de définir en cours de projets les besoins d'informations de la GEM.

L'objectif de ce chapitre est d'apporter un éclairage didactique sur la norme ISO 19650 afin de favoriser la consolidation nécessairement longue du DOE numérique et de ses composantes BIM dans une optique de transfert harmonieux aux modèles d'exploitation et de maintenance.

Dans la norme ISO 19650, l'Asset Information Model (AIM) et le Project Information Model (PIM) représentent les informations d'actifs bâtis (ouvrages livrés) et les informations de projet (informations pendant la conception et les travaux).

Le premier est produit par la MOA et reflète les besoins des services de GEM. Le deuxième est produit par la MOE et les entreprises, fiabilisé durant la conception et la construction des ouvrages.

Chacun représente un référentiel d'informations structurées, utile pour les prises de décisions durant tout le cycle de vie.

À noter que les informations utiles à l'AIM et au PIM peuvent se recouper.

Voici quelques exemples d'informations :

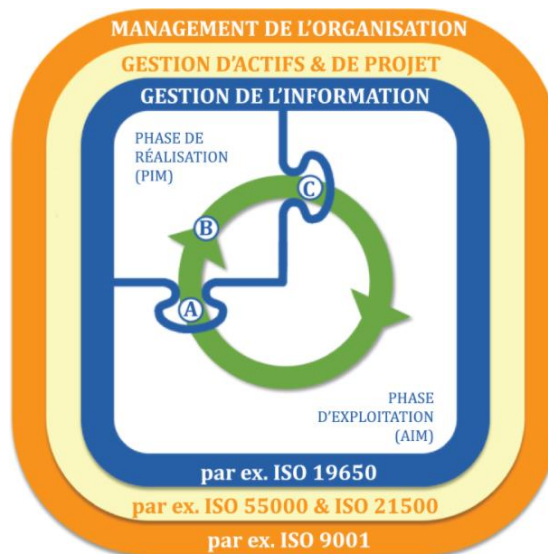
- AIM :
  - Identifiant unique de l'actif.
  - Précision géométrique.
  - Localisation de l'actif (Point kilométrique, référence spatiale, bâtiment/pièce).
  - Informations relatives aux garanties.
  - Informations relatives à l'entretien et à la maintenance.
  - Encombrement pour l'intervention et les zones de maintenance.
- PIM :
  - Identifiant unique de l'actif.
  - Précision géométrique.
  - Exigences programmatiques ou réglementaires.
  - Phasage, planification.
  - Quantités.
  - Gestion des conflits.

Informations spécifiques à la description ou à la compréhension d'un ouvrage : qualité d'acier, type de pose, densité, etc.

**Rappel du cycle de livraison de l'information**

Il est capital de rappeler que le cycle de production, de gestion et de livraison de l'information se planifie selon les principes suivants :

- L'accès à l'information est utile aux prises de décisions pendant tout le cycle de vie de l'actif. Il en résulte que le CDE est conçu avec toutes les parties prenantes.
- Le renseignement des informations est un processus progressif qui se planifie en amont. Un DOE BIM ne s'improvise pas en fin de construction.
- La norme ISO 19650 prévoit un transfert de l'information pertinente de l'AIM vers le PIM en début de phase opérationnelle et un transfert du PIM vers l'AIM à la livraison de l'ouvrage.



**Fig.36 : ISO 19650 Cycle de vie de la gestion de l'information d'un actif**

Le CDE fourni par les parties prenantes permet de gérer, stocker et mettre à disposition de tous, de la façon la plus appropriée et ouverte possible, les informations utiles. Sa gouvernance et son administration doivent être réfléchies de manière à répondre aux besoins du projet mais aussi au droit de propriété intellectuelle et de protection des savoir-faire.

**Environnement  
commun de données  
(ECD) et flux de travail**

La prescription la plus partagée de la norme ISO 19650 est établie sur le principe d'un flux de travail basé sur trois conteneurs ou sas :

- Travail en cours (production et vérifications internes).
- Partagé (collaborations et vérifications externes).
- Publié (stade engageant).
- Archivé (dépend de la stratégie mise en place, la lecture littérale du schéma qui suit est à éviter).

Chaque sas représente un endroit où les informations changent de statut à l'aide d'un système de vérification.

Le CDE aide à soutenir un processus de vérification et agit comme un outil de qualité du projet. Par conséquent, tout fichier partagé sera soumis à un indice de révision ainsi qu'à un statut précisant le degré de fiabilité des informations.

Le schéma ci-après, présenté une première fois au chapitre [Flux des informations au cours d'un projet](#), n'illustre pas la complexité des flux de travail et les nombreuses itérations nécessaires à la validation et au passage d'un statut vers un autre.

Par ailleurs, le CDE peut être partagé par différents acteurs en différents lieux suivant les nécessités du projet. Une MOE doit pouvoir produire au sein de son propre espace de travail avant de partager le résultat (son livrable) avec un groupement ou sa MOA.

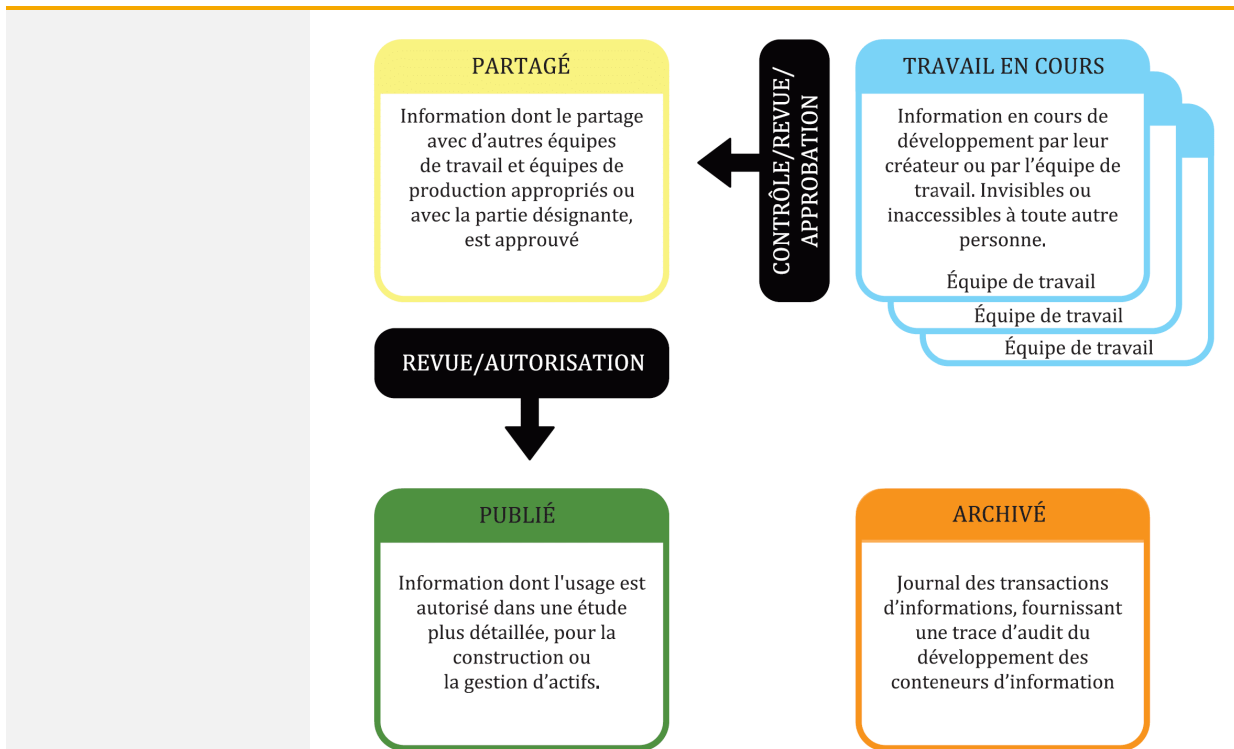


Fig.37 : ISO 19650 Concept des statuts des informations au sein du CDE

Processus vers Validation / Non-validation

- **Travail en cours** : Ce sas est accessible uniquement par l'équipe de production qui doit réaliser elle-même son contrôle qualité car elle reste responsable de l'information partagée.

Ce contrôle qualité complet est réalisé en trois étapes et il est recommandé qu'il le soit par trois ressources distinctes de l'entreprise responsable de l'étude :

- **Contrôle** (Application du Plan d'Assurance Qualité applicable au projet)
- **Revue** (notion de contrôle collégial en séance)
- **Approbation**

Sont vérifiées à ce stade les informations en regard des normes, de la réglementation, des règles de l'art et des modes opératoires applicables comme la convention BIM ou le BEP.

Sont vérifiées également les informations pertinentes pour la coordination, ainsi que l'exhaustivité et l'exactitude des informations de projet vis à vis du PIM.

- **Partagé** : Ce sas permet à toute partie concernée par l'étude de collaborer et de se coordonner à un niveau supérieur, sans possibilité d'édition.

Le contrôle qualité permettant de passer au stade « publié » est réalisé en deux étapes :

- **Revue** (notion de contrôle collégial en séance)
- **Autorisation** (notion d'autorité supérieure)

Sont vérifiées à ce stade les interfaces de projet ou la cohérence d'une réponse vis-à-vis des exigences de la MOA.

- **Publié** : Il s'agit de l'étape engageante pour l'ensemble des informations arrivées à ce stade. Sont réputés fiabilisées les interfaces projet en fin de conception ou le PIM à la livraison.

**Flux de traitement / Résolutions**

**L'archive répond au besoin d'historisation des décisions**

La validation est systématique : un modèle est validé tant qu'il n'est pas mis en défaut (conforme aux attentes). Dès que le contexte évolue et que le modèle est en conflit avec une interface, il peut être considéré comme non validé et revient en « Travaux en cours » si nécessaire, pour modification et nouveau partage.

La notion d'**Archive** est un statut applicable aux trois conteneurs d'informations, c'est-à-dire aux 3 statuts précédents (travail en cours, publié, partagé). C'est pour-quoi il est placé au « centre » du processus global.

Il permet d'historiser les flux de travail et de décision pendant toute la production, le partage et la publication des informations. Ce journal des transactions permet de conserver la trace de tous les événements (publication de modèles, analyse de conflits, résolution d'incohérences, choix des décideurs...) afin de conserver la mémoire du projet et d'identifier les responsabilités. L'archivage est également utile pour action tels que la capitalisation, le partage ou encore les offres.

S'agissant de conserver les éléments utiles sur le temps long, l'archive de projet peut être externe au CDE du projet.

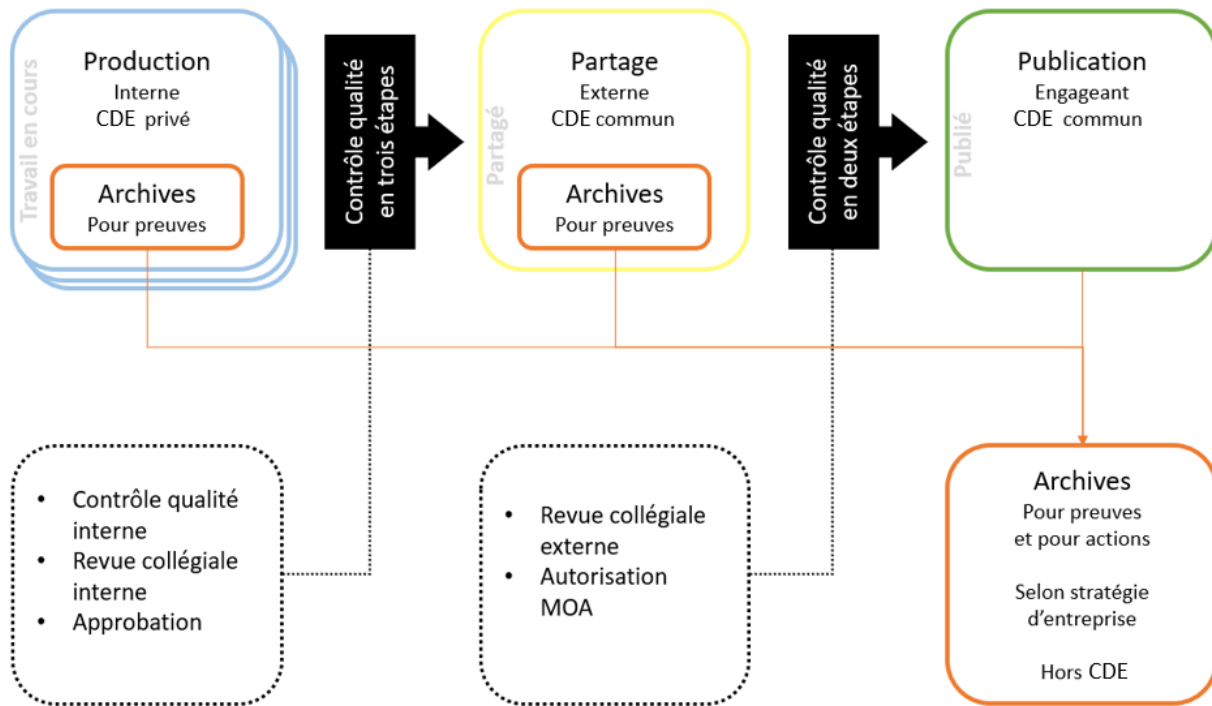


Fig.38 : Proposition de statuts des informations, relecture de la norme ISO 19650

**Commentaires / Annotations**

**BCF ou BIM Collaboration Format**

Le format BCF (BIM Collaboration Format) est un format de fichier basé sur le IFC-XML qui permet l'échange de commentaires sur tout ou partie d'une maquette numérique quel que soit le logiciel utilisé.

Géré en opensource par buildingSMART, cette solution est reconnue comme un des standards de l'association au même titre que les IFC, le Cobie ou les IDM.

Le BCF est un format de fichier léger qui contient uniquement les informations ciblées (documentation, informations textes, captures d'écran, etc.) entre les différents acteurs et leurs

logiciels BIM. Cette solution facilite et accélère la collaboration car les intervenant qui souhaite échanger des commentaires n'ont pas besoin d'échanger l'intégralité des modèles (fichiers volumineux) ni de comparer différentes versions des modèles pour identifier les nouvelles requêtes.

L'utilisation des BCF est parfaitement adaptée au processus de validation des maquettes numériques :

L'historique et le suivi de la prise en compte des commentaires est intégré dans le format BCF.

Des services d'hébergement des fichiers BCF dans le cloud (serveurs BCF) permettent de centraliser les commentaires et suivre leur traitement en s'affranchissant des échanges des fichiers BCF et du versioning de ceux-ci.

### Génération des plans à partir d'une maquette

#### Stockage des maquettes

Les livrables 2D (plans, métrés, quantitatifs, etc...) seront produits par extraction depuis la maquette numérique (sans modification de données par rapport à cette maquette) afin de garantir la cohérence et l'intégrité des données. En ce qui concerne les plans 2D, ils seront extraits de la Maquette Numérique, les informations s'y trouvant seront donc géométriquement subordonnées et cohérentes.

Les formats de fichiers natifs des outils de modélisation encapsulent les modèles 3D ainsi que les plans. La liaison dynamique entre modèle et plans est ainsi préservée.

#### Stockage des plans issus des maquettes

Contrairement aux formats natifs, le format IFC ne permet pas d'encapsuler les plans issus des modèles.

Par conséquent, les plans doivent être stockés au format PDF et un système de traçabilité des plans et des maquettes IFC dont ils sont issus doit être mise en œuvre. Les systèmes de traçabilité peuvent s'appuyer sur toute ou partie des solutions suivantes :

- Faire figurer sur les cartouches des plans la codification des maquettes BIM dont ils ont été issus,
- Mettre en place une codification des fichiers informatiques communes aux plans et aux maquettes,
- Utiliser une table de correspondance plans / maquettes.

## 5 CONTRAINTES JURIDIQUES ET TECHNIQUES

### 5.1 Introduction

#### Contraintes juridiques et techniques

Le DOE (cf. chapitre de définition DOE) évolue de deux façons :

- d'une part il se numérise ;
- d'autre part il doit, pour certaines MOA, être intégré à un premier niveau de réalisation d'un jumeau numérique ou au Système d'Informations pour la gestion patrimoniale.

Nous évoquerons dans ce chapitre les questionnements juridiques liés aux nouvelles prescriptions relatives au DOE ou pouvant également sortir de son cadre, actuel et non décrites dans le CCAG travaux datant de 2021.

Nous évoquerons ensuite les contraintes techniques et technologiques pouvant affecter la précision ou le coût du DOE.

### 5.2 Cadre juridique et contractuel

#### Les évolutions du DOE

##### Du DOE classique au Jumeau Numérique, une transformation à plusieurs niveaux

Dans un premier temps, nous aborderons la question des impacts juridiques par le prisme des différents acteurs afin d'éviter un éclairage partisan à l'une des parties induisant un manque d'objectivité.

Nous considérons quatre niveaux de transformation entre un DOE classique et un jumeau numérique :

- Niveau 1 – DOE classique
- Niveau 2 – DOE numérique
- Niveau 3 – Modèle d'information des actifs (AIM)
- Niveau 4 – Jumeau Numérique

Le DOE classique est peu à peu remplacé par le DOE numérique avec ou sans prescriptions. Ce dernier une fois livré est intégré au système d'informations de la MOA sous l'appellation AIM, voire du jumeau numérique, si toutefois cette dernière dispose d'une stratégie de gestion numérique de son patrimoine.

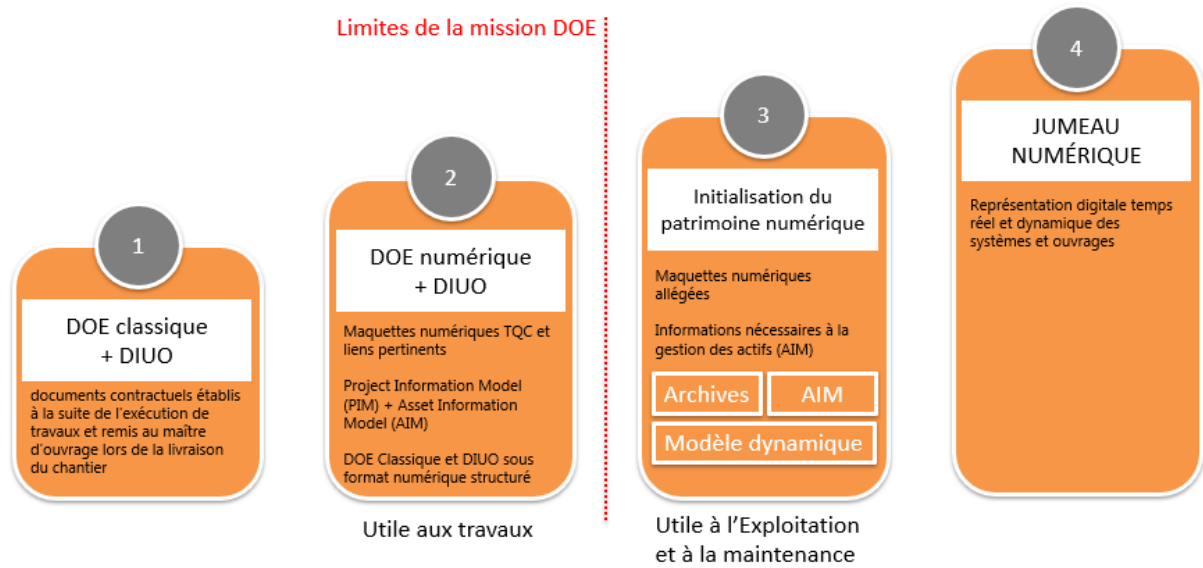


Fig.39 : Les limites contractuelles actuelles du DOE numérique

**Le cadre juridique inexistant impose de prescrire le DOE numérique par voie contractuelle**

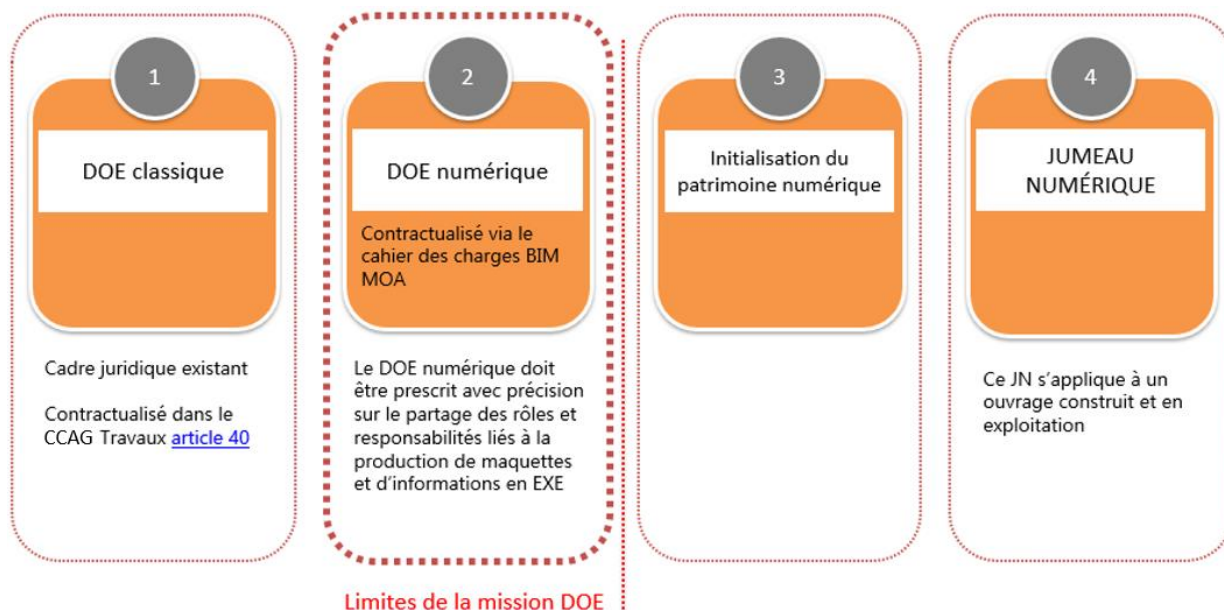
Le CCAG travaux de 2021 donne la possibilité de remise des documents sous forme numérique sans plus de précisions.

De ce fait, le DOE numérique doit être prescrit via le cahier des charges MOA afin de tenir compte de la stratégie adoptée par le Maître d'Ouvrage pour le passage vers l'AIM. La mise à jour des éléments géométriques et sémantiques ainsi que de tout autre document doit être étudiée en détail.

Le cahier des charges MOA précisera notamment :

- la structuration des modèles, des données et de tout document utile,
- les formats de fichiers attendus,
- les liens entre les éléments constitutifs de la maquette et le reste du DOE.





**Fig.40 : Le cadre juridique du DOE numérique**

### Les schémas contractuels

Il existe deux grands schémas contractuels à disposition de la MOA pour son projet.

- Le premier (marchés séparés) sépare le contrat du marché de MOE et le contrat du marché de travaux.  
Par conséquent les prescriptions relatives au DOE Numérique (DOEN) doivent être d'une grande cohérence sur la question des rôles et responsabilités prévues et partagées dès le démarrage de la conception pour la MOE, puis ensuite pour le(s) entreprise(s).
- Le deuxième (marchés globaux) contractualise directement avec un groupement d'entreprises, à charge pour l'entreprise de construction de distribuer les rôles et responsabilités afin de répondre au cahier des charges.

Il existe, pour une autorité publique la possibilité également de passer un marché de partenariat en déléguant l'ensemble des opérations à une société de projet assurant la conduite du projet sur tout son cycle de vie. La société de projet cumule en quelque sorte les responsabilités propres aux Maîtres d'ouvrage, aux Exploitants et Mainteneurs, aux Maîtres d'œuvre, aux Entreprises vis-à-vis de tous les tiers et intervenants. Il n'en sera plus question dans la suite de ce livrable.

Le danger pour la MOA est d'avoir décrit ses besoins en matière de DOE numérique sans que les parties en présence n'aient été investies d'une mission claire :

- Que livre la MOE à l'entreprise au DCE ?
- Qui est responsable des reprises sur les modèles numériques pour visas et synthèse puis pour le DOEN ?

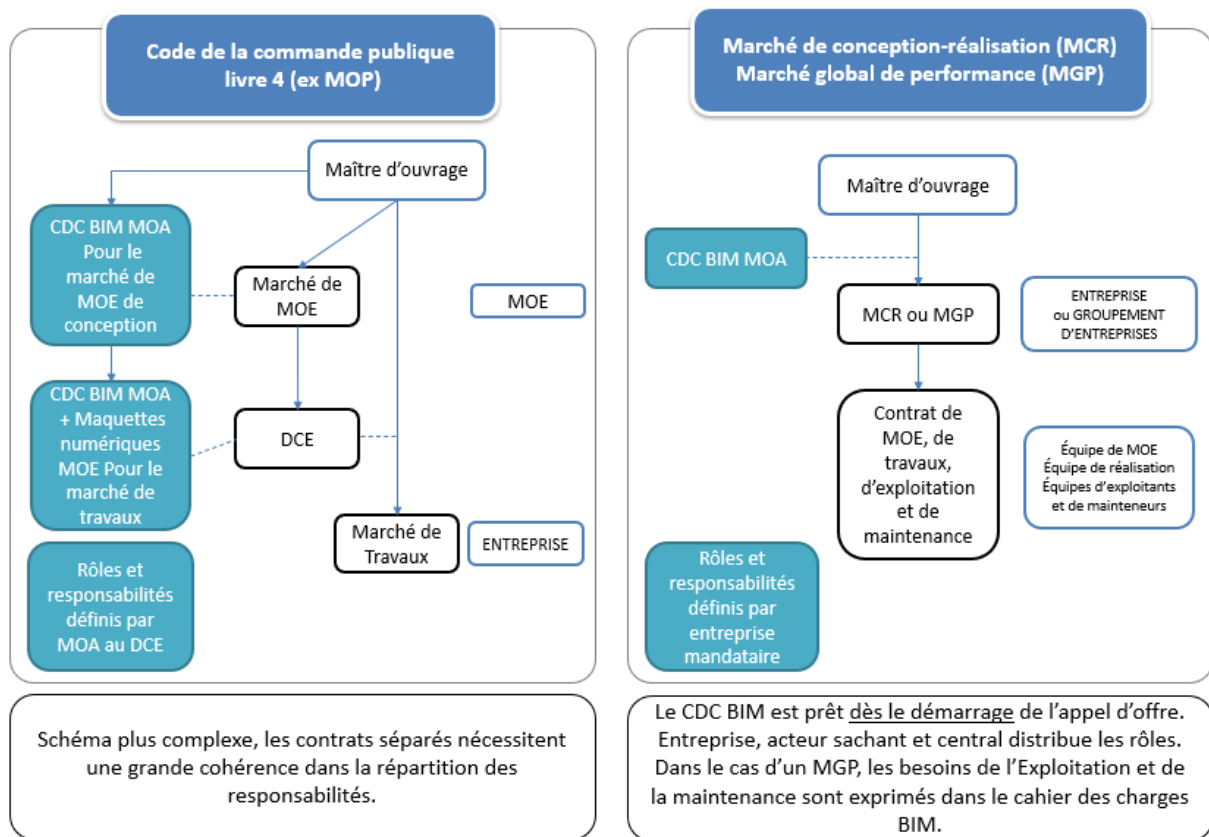


Fig.41 : Les deux schémas contractuels

### Partage des rôles et responsabilités

Le schéma ci-après reprend les rôles et responsabilités rencontrés depuis la constitution du DCE jusqu'à la livraison du DOE.

Certaines responsabilités incombent de façon naturelle aux acteurs habituels, à l'instar de l'écriture du Cahier Des Charges BIM (CDC BIM) relevant d'une responsabilité de la MOA avec production éventuelle de son AMO (1<sup>3</sup>).

Certaines responsabilités relatives à la production, doivent en revanche être distribuées de façon claire aux acteurs dans le CDC BIM valant pièce contractuelle :

- Qui produit les maquettes numériques EXE (2) ?
  - Selon quel niveau géométrique ?
  - Où se trouve l'information associée et sous quelle forme ?
- Qui réalise la synthèse d'EXE et sur quelle base (3)?
- Qui réalise les relevés à la suite de l'exécution des ouvrages (4) ?
  - Quelle est la forme de preuve pertinente pour un ouvrage donné ?
- La MOE est-elle tenue de mettre à jour son dossier PRO durant l'EXE (5) ?
  - Pour réaliser la mission VISA avec un dossier marché à jour des modifications ?

Nota 1 : Cf. 3.4 sur la mise à jour d'une maquette PRO. On disposera ainsi à la réception d'une maquette BPE complète et d'un dossier PRO fiable.

Nota 2 : Les acteurs en responsabilité sur la production peuvent être de natures différentes : MOE, entreprise de construction et sous-traitants ou prestataires externes.

<sup>3</sup> Les numéros entre parenthèses peuvent être identifiés sur la figure Fig.42

Chacun de ces acteurs doit connaître précisément ses responsabilités dans la livraison d'un DOE numérique, dont les attendus sont prescrits dès la contractualisation du marché :

- Une MOE contractualisant en début de conception doit donc connaître à l'avance ses responsabilités en EXE afin de prévoir les ressources utiles aux tâches qui lui incombent.
- Une entreprise doit savoir sur quelle qualité d'entrant elle peut compter pour réaliser sa mission.
- La production des maquettes en EXE doit être sécurisée en raison de la maturité réelle des acteurs sur un marché donné pour de la production de maquettes. Le recours à des missions spécifiques pour des acteurs sachants est à prévoir dans le cadre contractuel si les compétences s'avéraient insuffisantes.

Nous rappellerons l'enjeu de cohérence dont les contrats devront faire preuve entre les parties prenantes, la livraison du DOEN étant en jeu.

Plusieurs scénarios sont possibles pour autant que l'ensemble des responsabilités aient été correctement distribués.

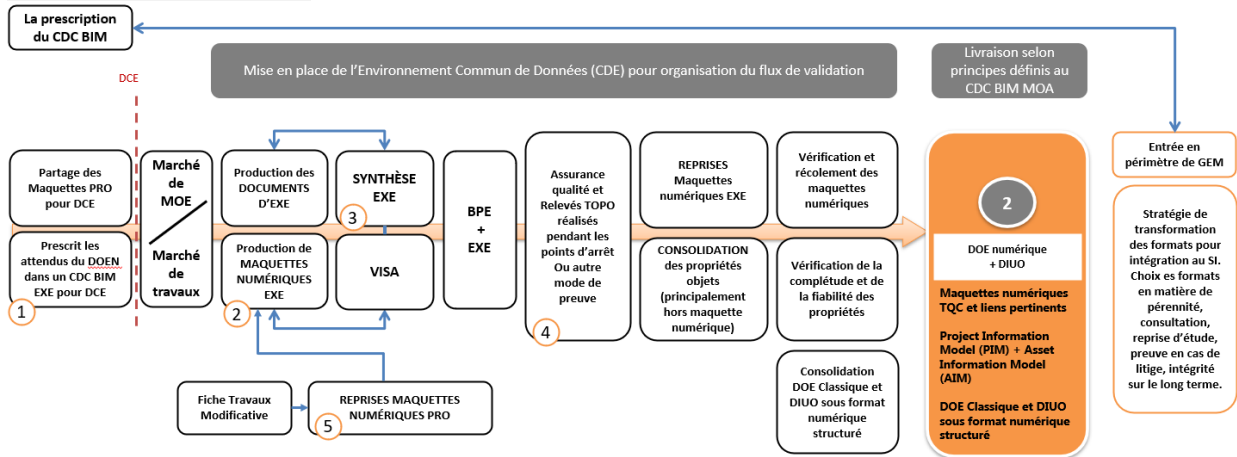


Fig.42 : Partage des rôles et responsabilités dans la constitution du DOEN (Voir détail en Annexe 9.3)

**RACI**

Un RACI peut être envisagé comme base du partage des responsabilités décrites dans le schéma précédent. Un exemple est à consulter Fig.54 concernant les prescriptions pour l'organisation et la production du DOE numérique.

**Matrice RACI**

Le RACI est une méthode de gestion de projet.

RACI est l'acronyme en anglais de Responsible, Accountable, Consulted, Informed. La traduction en français donne :

- Réalisateur pour Responsible ;
- Autorité ou Responsable (celui qui rend des comptes pour la décision) pour Accountable ;
- Consulté (celui qui est consulté avant la prise décision) pour Consulted ;
- Informé (celui qui a besoin d'être informé, mais pas nécessaire consulté) pour Informed.

La matrice RACI est un outil de communication. Une fois un projet préalablement défini, la méthode RACI consiste en l'élaboration d'une grille qui permet de visualiser les rôles de chacun et donc de répondre à la question « Qui fait quoi ? ». Cela permet d'éviter toute redondance de rôles, toute perte de temps et de définir clairement chaque responsabilité.

## 5.3 Contraintes technologiques ou réglementaires

### Outils d'acquisition des données

Nous proposons ici deux renvois vers des livrables MINnD spécifiques :

- Un résumé du travail réalisé durant la saison 1 de MINnD et disponible au chapitre 4.1.
- Le thème « Retro-engineering en phases conception et construction » traité par le GT5 durant la saison 2 de MINnD<sup>4</sup>. Y sont abordés les sujets suivants :
  - La définition, l'analyse et l'interprétation des entrants.
  - Le lien avec le PLM et les conteneurs de données.
  - Les notions d'incertitude, de précision et de responsabilités.
  - La modélisation, le contrôle et le transfert vers l'exploitation et la maintenance.

### Outils et processus

#### Contrôle de validité des données topographiques

Les outils et processus décrits rapidement ci-après sont détaillés en Annexe 9.2.

L'arrêté des classes de précision de 2003 sert de base pour valider tous les types de production d'objets géographiques obtenu par relevés, numérisation de fond de plan ou scannérisation.

D'autres documents, comme ceux des services du cadastre, peuvent servir à la mise en place de conditions de validation de données topographiques pour d'autres usages.

#### Outils logiciels

La base de connaissance d'un ouvrage est désormais constituée de nombreuses informations souvent répartis entre plusieurs acteurs tels que MOA, MOE, Entreprises et Exploitants Mainteneurs.

L'enjeu est d'en comprendre les problématiques afin d'anticiper les difficultés rencontrées pour gérer cette base de connaissance et de réfléchir aux incidences sur nos organisations.

Les outils doivent donc proposer les fonctions de :

- Partage et d'échange de données.
- Historisation des décisions.
- Sauvegarde et archivage des données.

#### Processus

La série des normes ISO19650 définit les processus d'échange de données pour un projet de construction. Elle oblige tout d'abord à définir correctement les acteurs et leurs responsabilités, l'environnement de travail collaboratif (CDE) et les principes des processus à appliquer pour établir la confiance entre les intervenants.

#### Normes et standards

Les acteurs de la construction ont toujours cherché à classifier les composants d'un ouvrage, afin de faciliter une compréhension collective des objets pendant toute la durée de vie de l'ouvrage et de fluidifier le transfert d'information entre les acteurs. Plusieurs systèmes de classification peuvent être utilisés et sont détaillés en Annexe 9.4.

En plus de cette classification des composants d'un ouvrages, et afin d'assurer une traçabilité parfaite, il faut que chaque conteneur d'information exploite des méta-données incluant un code de révision, conforme à une norme (par exemple la série IEC 82045 « Gestion des documents »).

<sup>4</sup> MINnDs2\_GT5\_retro\_ingenierie\_modelisation\_donnees\_etat\_art\_029\_2022

## 5.4 Problématiques juridiques de chaque acteur

### MOA

#### Expressions exigences / Performances

La première série d'exigences qui dépendent de la MOA concernent les usages attendus de l'infrastructure demandée. Qu'il s'agisse du système-produit (l'infrastructure concrète) ou du système-service (les organisations opérant l'infrastructure), la MOA, qui seule connaît sa propre clientèle est donc la seule à pouvoir définir, bien entendu en des termes *a priori* ne préjugant pas des solutions<sup>5</sup> ce qu'il est convenu d'appeler ses besoins opérationnels (exploitation et maintien en conditions opérationnelles). Ni la MOE ni l'entreprise ne peuvent faire cette définition en lieu et place de la MOA, elles peuvent tout au plus s'assurer que le MOA a effectivement fait une définition de besoins apparemment complète i.e. qu'ils peuvent résoudre. Cette première série est nécessaire quelles que soient les modalités contractuelles choisies. Elle comprend bien entendu les besoins en termes du SI de son client, c'est-à-dire le contenu numérique des DOE et DIUO satisfaisant du point de vue de son client.

Dans le cas de base de la commande publique non dérogatoire, s'y ajoutent les prescriptions de coordination des tâches entre les intervenants avec lesquelles elle contractera directement. En effet toutes ces tâches sont dimensionnantes tant du point de vue de ses propres ressources que des ressources demandées à la MOE et aux entreprises.

Charge au MOA de rédiger les attendus en matière de sécurité, confidentialité et de procédures autorisées par sa DSI.

### MOE

À l'intérieur des besoins définis par la MOA appropriés au schéma contractuel choisi, il appartiendra à la MOE de formuler ses propres réponses pour son activité, en termes d'exigences supplémentaires et de spécifier ses attentes de la part des entreprises. Il doit expliciter ses propres responsabilités pour assurer la livraison d'un DOE et d'un DIUO numérique satisfaisant en tout point vis-à-vis de la conception dont il reste responsable.

### Constructeur

C'est l'acteur principal de la constitution d'un DOE numérique, encore faut-il que celui-ci ait été correctement spécifié, sur la base de quoi les plans d'exécution des travaux et du BIM peuvent être développés de façon satisfaisante.

### Coordinateur sécurité

C'est l'acteur responsable de la constitution du DIUO sur la base des informations collectées auprès de la MOE et des Entreprises.

La constitution d'un DIUO numérique ne peut s'envisager que si cet acteur a tous les accès et droits nécessaires au BIM et plus généralement au CDE, et en particulier au DOE numérique car nombre des informations présentes dans le DOE sont à reprendre et à compléter pour constituer un DIUO numérique.

<sup>5</sup> Mais, c'est là une stratégie qui relève également de la MOA qui peut avoir des besoins légitimes de ce point de vue comme ceux de compatibilité de certains équipements pour des raisons de maintenance avec d'autres équipements qu'il opère déjà sur d'autres parties de son patrimoine d'infrastructures

### **Mainteneur / Exploitant**

Cet acteur n'est quasiment jamais connu avec précision de la MOA au moment de programmer une infrastructure, ni même de commencer la conception voire la construction.

Il est cependant bien de la responsabilité de la MOA d'avoir développé au moins une stratégie d'usage de l'ouvrage qu'il souhaite développer qui le rende capable de spécifier une structuration de la donnée numérique utile à l'exploitation et la maintenance qu'il aura eu soin de définir lui-même en utilisant des structures et des normes interopérables qu'il aura discuté à l'amont avec son panel de clients potentiels. C'est là une partie du cœur de ses compétences.

## 6 PRÉCONISATIONS POUR LA COMPOSITION D'UN DOE-DIUO NUMÉRIQUE

### 6.1 Introduction

#### Le DOE numérique se prescrit suivant quatre axes

Le chapitre présent propose une organisation possible pour la prescription d'un DOE numérique. Il s'organise autour de quatre blocs :

- Données et formats, organisés selon l'Architecture système qui considère l'architecture organique, fonctionnelle (système) et opérationnelle.
- Outils de concepteurs et constructeurs,
- Déversement des données depuis les outils de la réalisation vers ceux des opérations,
- Outils de gestion et d'exploitation,

En conclusion nous proposons une matrice RACI de répartition des tâches, guide à amender pour chaque projet.

Il s'agit d'une proposition à adapter en fonction des habitudes, des situations, sans prétention d'exhaustivité.

### 6.2 Prescriptions pour l'organisation et la production du DOE numérique

#### Données selon des référentiels opérationnels, techniques et spatiaux indexées par le temps

Nous proposons d'organiser les données suivant trois référentiels utiles à la gestion patrimoniale :

- Un référentiel technique (opérationnel et fonctionnel),
  - Le référentiel décrit l'ouvrage à la manière d'une classification,
  - Les fonctions sont décrites selon une liste prédéfinie,
  - D'autres informations sont proposées dans la carte mentale ci-après.
- Un référentiel spatial (organique),
- Un référentiel temporel,
- Nous ajoutons l'information lié à l'émetteur pour mémoriser l'auteur de la prescription.

Ces référentiels permettent de répondre aux questions du quoi, du où, du quand et du qui.

Les modèles géométriques ainsi informés constituent des bases de données permettant d'être requêtées par l'ensemble des acteurs durant le cycle de vie de l'ouvrage.

Pour mémoire, les propriétés et les groupes de propriétés ayant vocation à être gérées au travers d'un dictionnaire de propriétés sont décrites dans la norme NF EN ISO 23386<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> NF EN ISO 23386 - Modélisation des informations de la construction et autres processus numériques utilisés en construction - Méthodologie de description, de création et de gestion des propriétés dans les dictionnaires de données interconnectés



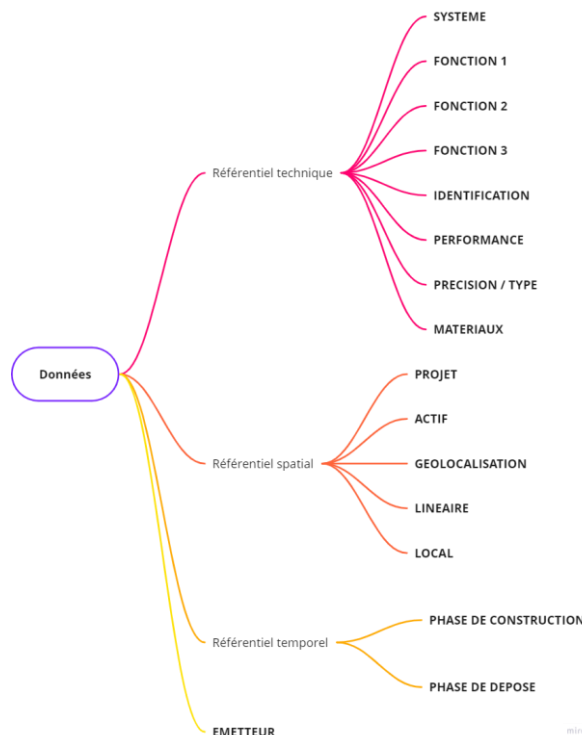


Fig.43 : Exemple de niveau d'informations attendues

Référentiel technique	
Nom de la propriété	Commentaires
<b>TYPE</b>	Description simple de l'élément. Exemple1 : Bordure en béton préfabriquée Exemple 2 : Luminaire
<b>CLASSIFICATION</b>	Classification applicable au projet qui considère selon l'architecture système l'objet organique donc le modèle numérique. À noter que la classification peut remplacer la propriété TYPE dans la mesure où elles décrivent toutes deux un élément. La classification est une version structurée de la propriété TYPE. Plus de détails à la suite. Exemple 1 : Classification SYSTRA : ROU_BCR_BPR - Bordure préfabriquée Exemple 2 : Classification UNIFORMAT II : D502002 - Lighting Equipment
<b>PRÉCISIONS</b>	La précision apporte les informations utiles et manquantes afin de caractériser l'élément. Exemple 1 : T3 Exemple 2 : Sodium basse pression 180W
<b>SYSTÈME OPÉRATIONNEL</b>	Nom du système auquel appartient l'élément et représentant la vision utilisateur. Ce système peut être en haut de la hiérarchie, le reste étant décrit par les fonctions. Les systèmes devront être définis au préalable. Exemple1 : Sécurité du trafic Exemple 2 : Éclairage de la chaussée
<b>FONCTION_1 ou FONCTION PRINCIPALE</b>	La fonction principale de l'objet. NOTA : Les fonctions possibles devront être définies au préalable. Exemple 1 : Guidage de sécurité Exemple 2 : Éclairage électrique
<b>FONCTION_2 ou FONCTION SECONDAIRE</b>	La fonction secondaire éventuelle de l'objet. Exemple 1 : Structurelle Exemple 2 : sécurité

<b>FONCTION_3</b>	La fonction tertiaire éventuelle de l'objet. Exemple 1 : Hydraulique (participe à l'écoulement des eaux.) Exemple 2 : Capteur d'informations
<b>CLASSIFICATION</b>	Classification applicable au projet. Plus de détails à la suite. Exemple 1 : Exemple 2 : 654 (pour un luminaire)
<b>IDENTIFICATION</b>	Un code numérique de type 001 ou 0001 afin de repérer un élément dans le projet. Exemple 1 : pas d'identification pour une bordure en béton Exemple 2 : 654 (pour un luminaire)
<b>EXIGENCES CRITIQUES</b>	L'identification de la performance permet au mainteneur de réparer ou échanger un élément en garantissant l'exploitation prévue de l'ouvrage. Exemple 1 : classe de résistance Exemple 2 : Nombre de lumens au sol
<b>MATÉRIAUX</b>	Exemple 1 : Béton gris clair Exemple 2 : Pas d'indication de matériaux

#### Spécifier les principes d'une classification

Les systèmes de classification s'appuient sur un contexte normatif ISO :

- La norme ISO 22274 : 2013 relative à l'aspect conceptuel du développement.
- La norme ISO 12006-2 : 2015 précise l'organisation hiérarchique de l'organisation.

De nombreuses classifications internationales en sont issues. Pour autant, aucune n'est applicable en l'état dans un projet d'infrastructure, obligeant chaque gestionnaire à produire la sienne.

Le rapport d'analyse « Les systèmes de classification et le BIM » édité par buildingSMART France permet d'en comprendre rapidement le principe. La définition qui y est donnée est la suivante : « Un système de classification est une méthode permettant la répartition d'un ensemble d'entités coordonnées, organisées et hiérarchisées, permettant d'identifier les composants d'un ouvrage. »

**La classification associe un code et un libellé** permettant ainsi de définir un élément de manière non ambiguë partagé par les acteurs d'un projet.

Elle est idéalement prescrite par le gestionnaire de patrimoine au cahier des charges.

De la classification peuvent dépendre les propriétés qui y sont associées.

Une classification répond à un code alphanumérique et un libellé.

**Il est possible d'introduire plusieurs valeurs de classification afin de préciser des éléments appartenant à différents systèmes.**

Ainsi un système de protection GEFRA<sup>7</sup> entre deux infrastructures est à la fois composé d'éléments individuels de type voile, clôture ou caniveau mais il est également intrinsèquement un système de protection GEFRA.

Chaque élément de l'illustration ci-après appartient à un système propre comme une structure en voile béton mais constitue aussi une partie d'un élément fonctionnel de type GEFRA. Ainsi le Mur B.A. sera considéré comme un système de séparation des trafics. Sa première fonction sera la sécurité assortie d'une deuxième fonction liée à la structure. Tout comme le caniveau à fente dont la fonction première sera également la sécurité avec comme fonction secondaire le drainage.

<sup>7</sup> Géfra : Groupe d'étude pour le jumelage des voies Ferrées à grande vitesse et des Routes et Autoroutes (SETRA / CEREMA)

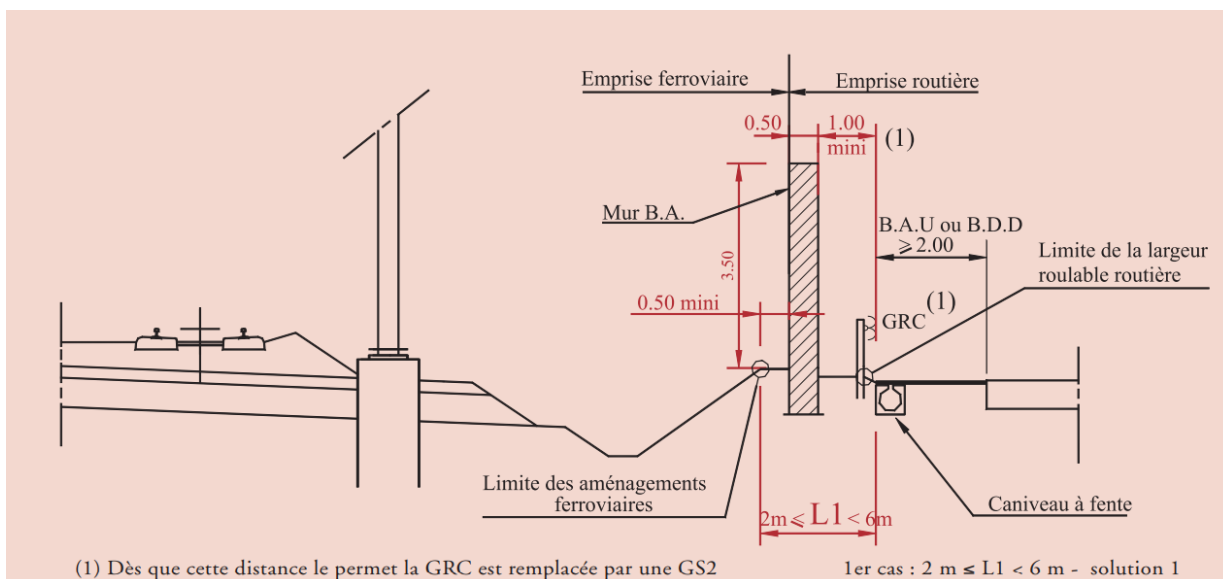


Fig.44 : Guide technique Géfra – Jumelage des plates-formes ferroviaires et routières ou autoroutières. SETRA

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Table des éléments (AA)	Enveloppe extérieure Code : AA-20	Menuiseries extérieures Code : AA-20-50	Fenêtres Code : AA-20-50-10	Fenêtre battantes Code : AA-20-50-10-10

Fig.45 : Les systèmes de classification et le BIM » édité par buildingSMART France – Structure type d'un système de Classification

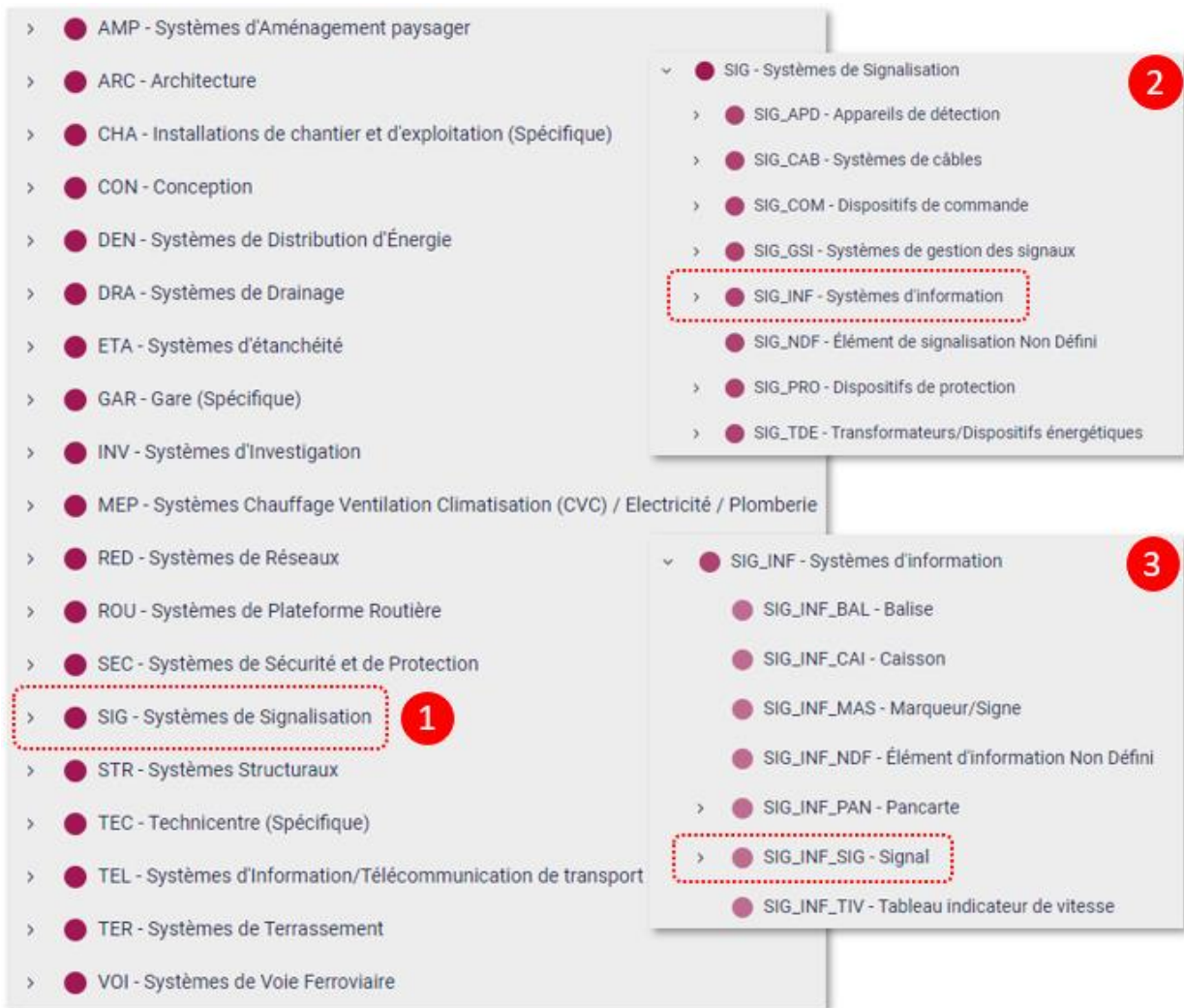


Fig.46 : Classification SYSTRA, exemple portant sur trois niveaux des systèmes de signalisation

**Identification de l'actif** Une infrastructure est composée de différents actifs tels que les voies, route, viaducs ou ponts. L'identification de l'actif associe le nom de l'actif à toutes ses parties.



Fig.47 : Exemple de décomposition d'un projet ferroviaire par actifs

**Règle d'identification unique d'un élément composant l'actif**

Une identification unique peut-être prescrite afin d'identifier formellement un élément. Cette identification permet de faciliter la compréhension d'une reprise d'étude ou d'une intervention sur site. Elle permet d'organiser la liste des éléments afin de les comparer dans une matrice.

Quelques exemples d'identifications utiles : regards, chambres de tirage, vannes d'arrêt, pile de pont...

L'ensemble des éléments constitutifs d'une infrastructure n'ont pas vocation à être identifiés. À charge pour la maintenance d'établir la liste des éléments à repérer par identification.

Les éléments étant par ailleurs définis par une discipline, un détail technique et une localisation, l'identifiant peut être constitué d'une simple suite numérique de type 01, 02...

À noter qu'un identifiant de type GUID est généré par l'application mais sa lecture est malaisée.

**Précisions techniques et quantités**

Les précisions techniques et les quantités peuvent être exportées par le logiciel utilisé mais différent pour chaque outil. La demande de partage de ces nombreuses données est à l'appréciation de chacun.

**Référentiel spatial**

Le référentiel spatial revêt une importance toute particulière et doit être appliqué avec beaucoup de rigueur. Un référentiel spatial fiable est le garant :

**(Localisation absolue, linéaire ou locale)**

- D'une conception facilitée, avec parfois l'application de certains automatismes.
- D'une bonne coordination spatiale pour les projets.
- D'intervention terrain préparées.
- D'une maintenance facilitée.

Le référentiel spatial porte sur trois niveaux et dépend du type d'ouvrage :

- La géolocalisation par des coordonnées X, Y et Z,
- La localisation linéaire pour des infrastructure ferroviaires ou routières,
- La localisation au local utilisé pour les bâtiments.

Les exemples sont donnés à titre indicatif et différent en fonction des pays et des clients.

**Géolocalisation**

La géolocalisation par points X, Y et Z est notamment utile pour implanter les éléments en étude puis sur chantier à l'instar d'un massif de fondation.

Elle dépend d'une projection planimétrique et altimétrique connue, résultant d'un relevé de géomètre. Chaque relevé doit être par ailleurs rattaché à des points connus et garantissant la précision prescrite.

Cette géolocalisation permet de comparer le Tel Que Construit aux documents d'exécution en relevant les points dimensionnants.

**Principes d'une localisation linéaire**

La localisation linéaire permet de repérer dans l'espace les éléments d'infrastructure ferroviaires et routières.

Elle se base sur une abscisse curviligne dont l'origine à été identifiée afin de positionner chaque élément ponctuel suivant un point kilométrique (PK) ou par des points kilométriques de début et de fin (PKD et PKF)

Chaque élément d'infrastructure linéaire doit bénéficier de son propre tracé 3D sur lequel sont reportés les PK.

Ainsi la localisation d'un élément d'infrastructure ferroviaire sera renseignée par la suite d'informations suivantes :

- Numéro de la ligne, exemple 640000.
- Numéro de la voie, exemple V1.
- Point kilométrique (ou PKD et PKF), exemple 235+194.
- Sens pair ou impair, afin de connaître la position d'un élément en regard du sens de circulation normal.
- L'écartement en Y et en Z depuis l'abscisse curviligne.
- Point d'implantation (centre du massif, nu extérieur...).

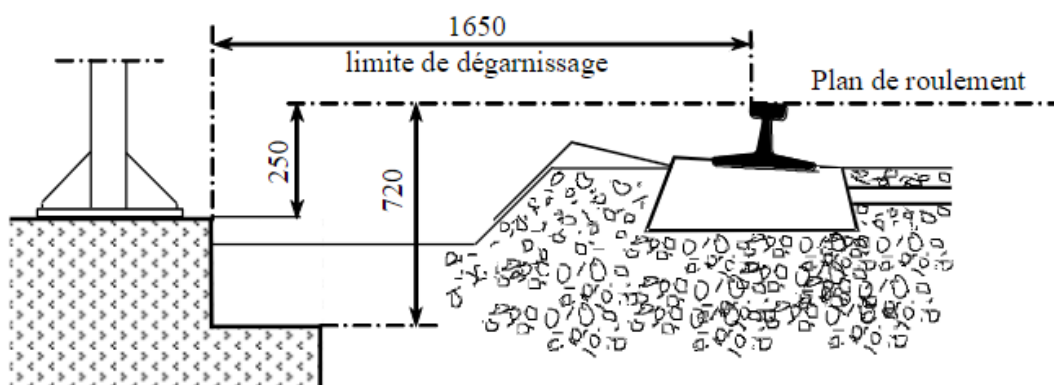


Fig.48 : Exemple d'implantation d'un massif de signalisation par rapport au rail extérieur



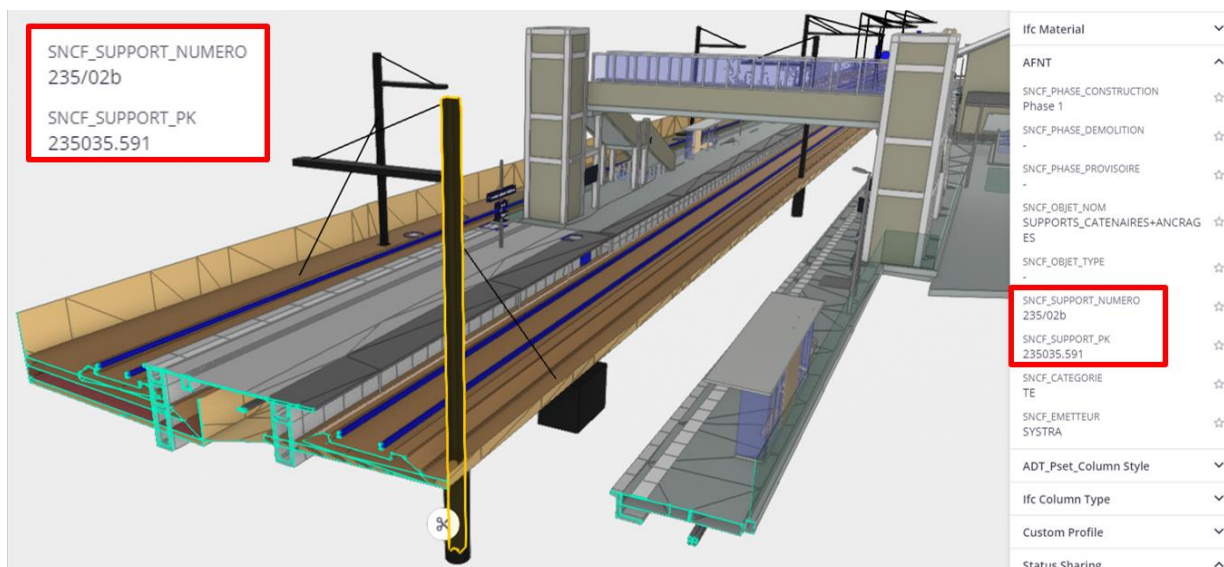


Fig.49 : Étude SYSTRA, projet SNCF AFNT, Nom de la caténaire découlant de son implantation kilométrique

#### Principe d'une localisation relative au local hébergeant une activité

La localisation dans les bâtiments est normée suivant l'organisation suivante :

- Site (La gare de Lyon)
- Bâtiment (Le hall 2)
- Étage (Le RDC)
- Local (le L.T. 02)

À noter que cette structuration est utilisée aussi bien en maintenance que dans les IFC.

#### Référentiel temporel

Le référentiel temporel complète les deux premiers par une information relative à la date d'exécution de l'ouvrage, ou sa démolition éventuelle.

Le référentiel temporel est particulier car la donnée relative au temps n'est pas gérée dans la plupart des logiciels de maquettes numériques. Une date n'est pas un format reconnu comme sur Excel.

Ce point n'est pas considéré comme problématique car d'une part la précision attendue sur un projet est généralement de l'ordre du « Macro » et d'autre part le renseignement des noms de tâches d'un planning permet dans certains outils de les rapprocher des dates assorties.

Ainsi le référentiel temporel sera construit autour de deux propriétés :

- Phase de Construction/pose (« Mise en service juin 2026 » par exemple)
- Phase de démolition/dépose

Les propriétés pourront ainsi être renseignées suivant la granulométrie souhaitée.

À noter que ce référentiel permet d'effectuer une coordination technique temporelle en affichant dans certains outils un état des modèles tenant compte des constructions et démolitions à un instant donné.

Il est également souhaitable de garder en mémoire la date de mise en service d'un élément d'infrastructure pour une bonne gestion patrimoniale.

## Formats

### Formats d'échanges

Les formats d'échange sont de deux types :



### Formats d'archivages

- **Les formats natifs**, avec par exemple le RVT, le DWG ou le DGN pour les maquettes numériques. Le format natif permet les reprises d'études ultérieures ou la coordination sur certains outils,
- **Le format IFC**, qui permet à tout un chacun de visualiser une maquette numérique et de coordonner un projet notamment sur les plateformes en ligne.

L'archivage concerne des documents figés, validés, qui font foi et dont la traçabilité et l'intégrité sont assurées. L'archivage est donc à la fois assuré pour preuve mais également pour action en garantissant leur exploitation ultérieure dans le cadre d'une reprise de projet ou d'un besoin de capitalisation.

Le format d'archivage doit pouvoir garantir :

- **La réversibilité** qui intervient lorsque cesse la relation contractuelle avec une solution d'archivage choisie. Elle doit garantir la meilleure continuité de service avec un autre prestataire.
- **La pérennité** afin de garantir le risque d'obsolescence des formats. Il peut être prévu une montée de version régulière par copie au sein des fichiers archivés
- **L'accessibilité** qui permet à des acteurs, y compris en dehors de l'entreprise cliente de la solution, de pouvoir consulter des documents archivés.

Un livrable MINnD saison 2 relatif à l'archivage est disponible<sup>8</sup>.

### Outils concepteurs constructeurs

#### Exigences opérationnelles (performances)

Dans ce chapitre nous nous intéressons aux prescriptions liées aux outils de conception permettant d'amender la donnée des projets.

La gestion, exploitation et maintenance (GEM) impose, vu la taille et le nombre d'actifs en gérance, ce que nous appellerons la frugalité numérique.

Cette frugalité numérique se traduit par une volonté constante de réduire la taille des fichiers et le nombre d'informations contenues en gardant l'utile et le nécessaire.

Dans toute prescription cette ligne est à considérer afin de garantir les exigences opérationnelles.

#### Maquette numérique

- **Poids** : Le poids communément accepté pour une maquette numérique se situe entre 200 et 300 Mo. La maquette étant par ailleurs découpée par discipline, un découpage géographique permet de réduire le poids des modèles.
- **Level Of Detail (LOD)** : Pour mémoire, le LOD correspond au niveau de détail géométrique attendu. Des documents qualitatifs décrivent à l'aide d'illustrations une progression géométrique pour les éléments composant les infrastructures. Malheureusement ces documents restent incomplets ou mal ajustés à un objectif particulier. Il est préconisé de décrire les éléments à modéliser avec si nécessaire le détail géométrique.

<sup>8</sup> MINnDs2\_GT1.7\_BIM\_archivage\_recommandations\_022\_2023

Actif	Détails géométriques phase AVP	Détails géométriques phase PRO
<b>QUAI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les quais sont représentés par des blocs avec des formes de pente, livrés avec les polygones 3D de conception</li> <li>Chambre de tirage</li> <li>Regard</li> <li>Chemins podotactiles de guidage en 2D</li> <li>Bandes d'éveil et de vigilance en 2D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dalle de quai avec formes de pente</li> <li>Bordure de quai</li> <li>Nez de quai avec polygones 3D de conception</li> <li>Chambre de tirage</li> <li>Regard</li> <li>Chemins podotactiles de guidage en 2D</li> <li>Bandes d'éveil et de vigilance en 3D</li> </ul>

### Système d'Informations géographiques (SIG)

- Level of Information Need (LOIN) (Norme NF EN 17412<sup>9</sup>)** : La notion de LOIN rejoint le concept de « Définition des exigences d'information » de la norme 19650-1, notamment au travers de « l'exigence d'information de l'actif » (AIR). La partie désignante indique les informations que la partie désignée doit livrer en fonction des objectifs de gestion patrimoniale. Nous pouvons citer en exemple le besoin d'informations liées à la sécurité.
- Précision** : La précision du relevé et de la modélisation d'un élément dépend directement d'un besoin. Plus le relevé et la modélisation sont précis, plus le prix est élevé. Il convient donc de différencier les éléments nécessitant une grande précision, de ceux pour lesquels cette précision importe moins. Sur une infrastructure ferroviaire les rails demandent une grande précision, car d'eux vont dépendre une grande partie de la conception. De même une grande précision doit être garantie pour les éléments engageant le gabarit du matériel roulant comme les nez de quai ou la signalisation ferroviaire.

Les systèmes d'informations géographiques sont d'une grande utilité pour la conception des infrastructures linéaires et leur gestion à grande échelle.

Ils permettent sur la base de couches produites par l'IGN de créer des données géoréférencées, de les représenter et de lancer des analyses diverses avec par exemple :

- Représentation des risques naturels et technologiques produits par le BRGM,
- Analyse hydrographique,
- Analyse des inter-visibilités,
- Analyse acoustique.

Il est recommandé d'utiliser l'outil QGIS sous licence GPL, avec une base de données au format Géopackage et contenant l'ensemble des couches d'informations, les fichiers, les propriétés, les mises en forme, thèmes ou encore les géo-signets.

<sup>9</sup> NF EN 17412 - Modélisation des informations de la construction - Niveau du besoin d'information - Partie I : concepts et principes

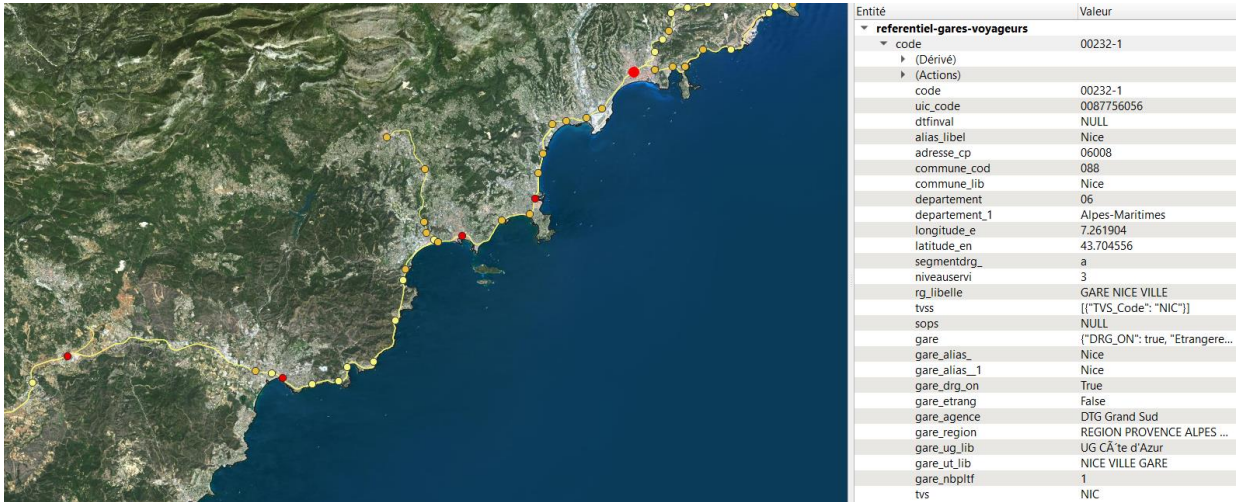


Fig.50 : Exemple d'un référentiel Gares et infrastructures SNCF formalisé sur QGIS

Documents classés, issus de modèles numériques identifiés selon un système de numérotation rigoureux

Les documents doivent suivre certaines prescriptions à préciser au cahier des charges :

- Les documents sont classés dans une arborescence dont la structuration est définie,
- Ils sont issus des modèles numériques lorsque possible pour les documents techniques,
- Les nomenclatures sont liées aux modèles numériques par un identifiant par ailleurs contenu dans le modèle numérique,
- Le système de numérotation des documents est défini pour l'ensemble des projets avec :
  - Un numéro unique de document.
  - Une codification dont le début correspond à celle de la maquette numérique dont le document est issu.
  - Un statut correspondant pour le DOE au livrable de mise en service.
  - Un indice.
  - Un intitulé.

N0	N1	N2	N3	INTITULE	indice et statut du document	CODIFICATION									
SOMMAIRE DOE EF VERSION 19															
200 000	VOIE														
	210 000	Documents généraux													
		211 000	Dossier qualité et contrôle sous-dossier Constructeur												
			211 100	PAQ, Procédures travaux et études											
				211 101	PAQ Réalisation Constructeur	J	4	EXE	X	VCB	ZZZ	QUA	LGVEE2	202000	J4
				211 102	Note de calcul de la ventilation artificielle pour les travaux ferroviaire tunnel de Saverne	D	4	EXE	X	VCB	TUN	SEC	LGVEE2	202107	D4
				211 103	Procédure de réception des matériaux de voie fournis par MOA	D	4	EXE	-	VCB	BTX	QUA	LGVEE2	210101	D4
				211 104	Procédure de distribution des traverses	G	4	EXE	-	VCB	VOI	QUA	LGVEE2	210102	G4
				211 105	Procédure de réalisation deS bandes de ballast et gravillons et pré-ballastage dans le tunnel de saverne	U	4		-	VCB	VOI	QUA	LGVEE2	210103	U4
				211 106	Procédure de déchargement des LRS	E	4	EXE	-	VCB	VOI	QUA	LGVEE2	210104	E4

Fig.51 : Exemple de structuration d'un DOE SNCF Réseau

Processus de numérisation de l'existant

Documents de références

Lorsque l'objet construit n'est pas modélisé directement et/ou que sa modélisation est incomplète, il est possible d'effectuer un relevé pour définir sa géométrie et en proposer une numérisation.

Pour tous ces processus et technologies, on pourra également se référer aux livrables du groupe de travail GT5 de MINnD saison 2 « Retro-engineering en phases conception, construction et exploitation-maintenance » et notamment aux chapitres consacrés à l'état de l'art de la modélisation des données.

### Nuage de points, les process de digitalisation de l'existant

Plusieurs solutions de numérisation sont possibles et chacune d'elle s'utilise selon des méthodes et des protocoles opératoires différents. À titre d'exemple, nous citerons les méthodes de laser scanner terrestre (TLS : Terrestrial Laser Scanner), du LIDAR (Light Detection And Ranging) ou encore de la photogrammétrie. Chacune de ses méthodes répond à des usages différents et offre des réponses souvent complémentaires. Elles appellent des techniques de terrain et de post-traitement très différentes qui ne sont pas évoquées ici. Ce paragraphe ne traite que de l'usage des résultats pour attirer l'attention sur leurs validités et leurs exploitations possibles. Dans tous les cas, l'acquisition de données géométriques doit être géo-référencée dans le système topographique de la construction.

Quel que soit le mode d'acquisition, les questions initiales à se poser restent les mêmes :

- Quels sont les besoins de représentation du modèle ? Pour quels usages ?
- Quel système de mesure sera le plus pertinent pour répondre à ces besoins ?
- Quel coût de production pour quel résultat ?
- Quelles précisions à attendre selon quelles tolérances applicables ?

Ces questions ne sont évidemment pas limitatives mais elles représentent bien l'esprit dans lequel le donneur d'ordre doit se placer au moment de passer sa commande. Les attendus fixent les méthodes à mettre en œuvre et définissent les résultats obtenus.

Dans la numérisation de l'existant Il faut distinguer l'objet de la mesure (le nuage de points) et l'interprétation qui en est faite (le modèle numérique résultant).

Le nuage de points est la représentation numérique obtenue par le capteur de donnée sans traitement initial. Il est constitué de millions de points mesurés individuellement depuis une série de positions (levé statique) ou en continue (levé dynamique) rassemblé dans un même système de coordonnées (absolue ou relatif). L'ensemble des informations de position de ces point pourrait être complété par une information comme la colorimétrie (couleurs RVB) ou la réflectance mesurée de l'objet (information thermique ou infrarouge par exemple).

La création d'un modèle numérique de la construction s'obtient à partir une analyse du nuage de points pour qualifier les objets physiques et fonctionnels. Il s'agit de leur attribuer leur géométrie et leur code de représentations pour leur associer les attributs attachés.

Pour ce faire, l'opérateur utilise un outil de modélisation qui lui permet de « dessiner » ce qu'il voit et d'ajouter les informations associées. Cette opération serait très longue et fastidieuse si elle se faisait entièrement « à la main ». Elle est donc automatisée par l'application de logiciels de traitement qui permettent de reconnaître et d'interpréter les informations du nuage de points. Certains logiciels utilisent des algorithmes de détermination des informations basées sur de l'apprentissage dirigé et l'intelligence artificielle plus généralement en recherchant automatiquement de formes et d'objets prédéfinis. Dans tous les cas, le modèle généré doit être validé par l'opérateur de saisie.

La modélisation de la construction est donc obtenue par l'interprétation des informations relevées sur le terrain. Son usage doit se faire en validant les approches méthodologiques et analytiques qui lui ont été appliqués. Un modèle 3D obtenu par combinaisons d'informations hétérogènes et de précisions différentes pourra être esthétiquement « beau » mais créera une réalité virtuelle fautive.



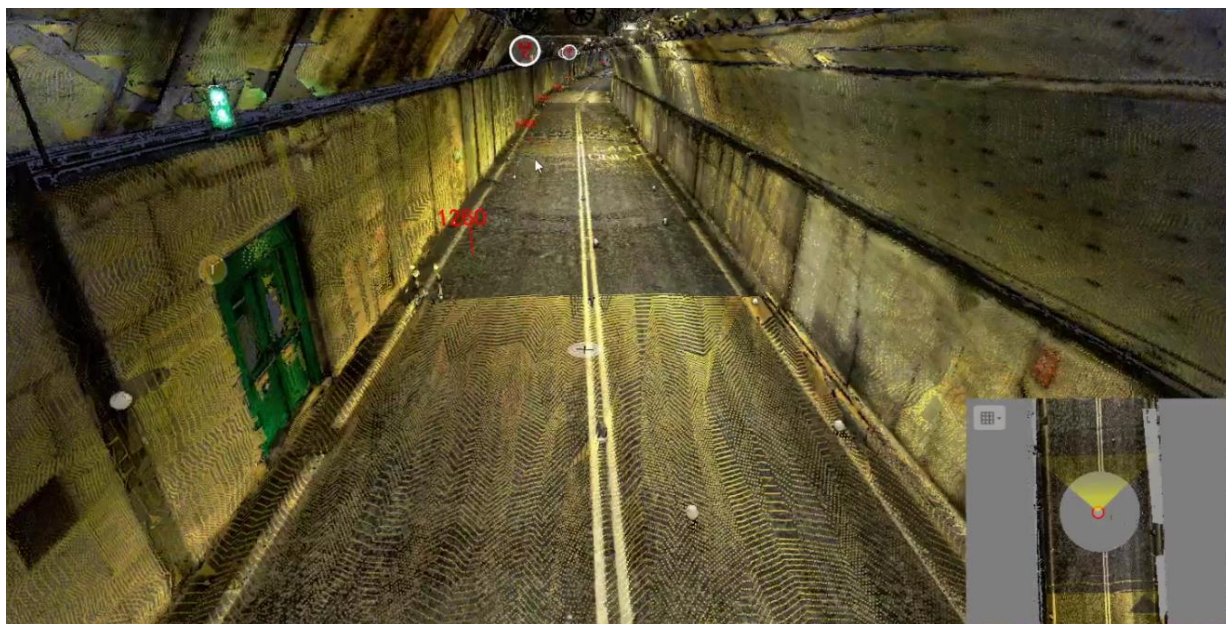


Fig.52 : Relevé numérique (nuage de points colorisé et géoréférencé) d'un tunnel existant (source Bouygues TP)

#### De la numérisation à la modélisation

La création d'un modèle numérique de la construction s'obtient à partir une analyse du nuage de points pour qualifier les objets physiques et fonctionnels. Il s'agit de leur attribuer leur géométrie et leur code de représentations pour leur associer les attributs attachés.

Pour ce faire, l'opérateur utilise un outil de modélisation qui lui permet de « dessiner » ce qu'il voit et d'ajouter les informations associées. Cette opération serait très longue et fastidieuse si elle se faisait entièrement « à la main ». Elle est donc automatisée par l'application de logiciels de traitement qui permettent de reconnaître et d'interpréter les informations du nuage de points. Certains logiciels utilisent des algorithmes de détermination des informations basées sur de l'apprentissage dirigé et l'intelligence artificielle plus généralement en recherchant automatiquement de formes et d'objets prédéfinis. Dans tous les cas, le modèle généré doit être validé par l'opérateur de saisie.

La modélisation de la construction est donc obtenue par l'interprétation des informations relevées sur le terrain. Son usage doit se faire en validant les approches méthodologiques et analytiques qui lui ont été appliquées. Un modèle 3D obtenu par combinaisons d'informations hétérogènes et de précisions différentes pourra être esthétiquement « beau » mais créera une réalité virtuelle fausse.

#### La gestion des modèles

Un autre point d'attention devra porter sur le poids des fichiers générés par l'une ou l'autre des approches. Le nuage de points brut est très consommateur d'espace informatique. Les coûts de stockage et d'archivage sont à prendre en compte dans l'économie du projet. Le modèle généré est, quant à lui, toujours plus léger mais ne conserve pas l'intégralité des informations du nuage.

Le donneur d'ordre doit donc se questionner sur le besoin de pérennité de ces informations et sur sa capacité et son besoin de les réutiliser dans le futur (proche ou lointain). Il doit aussi s'interroger le format de stockage le plus adapté à la conservation des informations et l'obsolescence des outils de visualisation de ces informations.

#### Historiques et traçabilité des décisions et interventions

Il est judicieux de garder en mémoire l'historique du projet en conservant dans les fichiers source du DOE, les nuages de révisions commentés.

La traçabilité des décisions est également suivie dans les outils de synthèse et de coordination permettant de suivre le statut et la date des remarques.

Les maquettes numériques n'ont pas vocation à porter directement dans chaque objet l'ensemble des décisions prises durant la vie du projet.

### Déversement des données depuis les outils de la réalisation vers ceux des opérations

#### Être vigilant quant aux outils de transformation des formats

Les formats des modèles numériques prescrits pour le DOE le sont en accord avec la compatibilité des outils de l'exploitation et de la maintenance. En l'absence d'outils spécifiques à la GEM en place, les formats IFC assortis des nomenclatures contenant l'information est préconisé. Le format Cobie est également interprété par certaines GMAO.

Le livrable MINnD saison 1 « la Structuration des données BIM en phase exploitation & maintenance » abordant des précisions sur la GMAO est disponible pour plus d'informations sur le sujet.

Les formats utilisés par les outils GEM ne sont pas identiques à ceux partagés par les outils de conception. Les formats d'entrée pour les outils GEM sont donc transformés en formats 3D d'une part (WebGL) et en base de données de l'autre, en conservant un lien entre les deux.

La question du processus de mise à jour des données géométriques et sémantiques devient prégnante. Convient-il de mettre à jour le fichier source et de réitérer le processus d'intégration dans l'outil GEM ou ce dernier permet-il des modifications au risque de finir avec un fichier de conception obsolète.

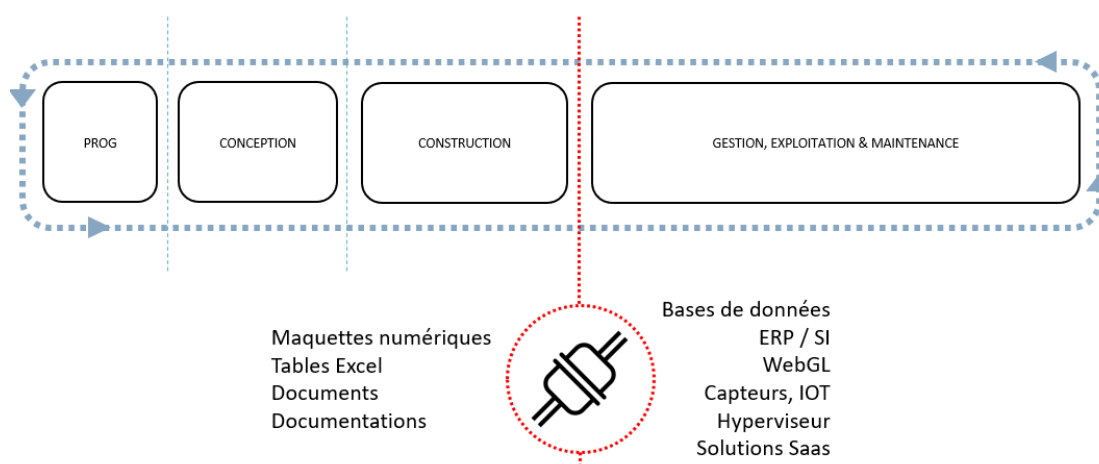


Fig.53 : Modification des outils et des formats entre la conception/construction et la GEM

#### Mappages de données à utiliser entre outils logiciels différents

Le processus de mappage des données permet de transférer les données d'un système (les maquettes numériques et les nomenclatures) à un autre comme la GMAO. Ces données par conséquent doivent être homogènes et formatées correctement afin d'être interprétées par la cible. La facilité de mappage des données et la bonne gestion du lien entre la maquette et la GMAO est à considérer dans le choix de l'outil.

#### Penser à faciliter la déclaration des équipements avec des outils interopérables

La procédure de déclaration des équipements est un acte fastidieux s'il n'est pas opéré directement depuis la base de données des modèles numériques vers la GMAO. Le choix de cette dernière doit en partie être guidé par cette fonctionnalité permettant d'initier la maintenance avec facilité.

### Outils de gestion / d'exploitation

Nous souhaitons rappeler ici les quelques définitions utiles à une Gestion Exploitation Maintenance numérique. Les gestionnaires de patrimoine doivent aujourd'hui garantir le fonctionnement de leurs actifs physiques notamment en termes d'exploitation. Il est utile de rappeler que pour certaines infrastructures comme pour le ferroviaire, les routes, l'eau ou l'électricité, il n'est pas toléré d'interruption prolongées dans l'exploitation. Ces outils sont décrits dans le livrable **MINnD du GT 3.1 saison 2** sur l'Intégration progressive du PLM dans l'exploitation des infrastructures de transport :

- GMAO : La Gestion de maintenance assistée par Ordinateur ambitionne de garantir le bon état de marche des actifs gérés.
- ERP : L'Enterprise Resource Planning intègre la gestion financière à la ressource humaine afin d'en optimiser la planification.
- Gestion technique : Cet outil permet de superviser le contrôle d'éléments techniques comme la surveillance, les accès ou la signalisation.
- Hypervision : Il s'agit d'un outil en mesure de centraliser et de restituer sous une forme synthétique, différents flux de données afin d'obtenir une vision d'ensemble sur un patrimoine.
- GED : La Gestion Électronique de Document permet d'intégrer dans un processus informatisé un nombre croissant de formats et d'informations dans le but d'une mise à disposition simplifiée.
- PLM : Le Product Life-cycle Management est une démarche méthodique dans l'entreprise étendue visant à intégrer toutes les activités techniques de conception et de fabrication autour du produit et de ses processus d'ingénierie et de production, tout au long de son cycle de vie : spécification, définition, industrialisation, maintien en condition opérationnelle, retrait ou démantèlement. (source association PLM Lab et Centrale Supélec Paris)

### Répartition des rôles et responsabilités (RACI)

La matrice RACI qui suit est un exemple possible, chaque responsabilité pouvant être détaillée au besoin. Comme décrit, la réalisation de chaque activité peut être prise en charge par plusieurs acteurs, le cahier des charges BIM MOA devant préciser ce point. Il faut détailler les tâches jusqu'au point de ne jamais voir deux rôles A pour une même tâche.



Activité	MOA/AMO	MOE	ENTREPRISE	Prestataire	Acteurs GEM
<b>Phase de consultation</b>					
Produit le CDC BIM pour la MOE	R, A				
Contient les prescriptions sur les attendus en matière de MN au stade du PRO/DCE	R, A				
Décrit les responsabilités de la MOE en EXE sur la mise à jour des MN PRO	R, A				
Décrit les responsabilités de la MOE en EXE sur la production éventuelle des MN EXE	R, A				
Produit le CDC BIM pour l'entreprise	R, A				
Décrit la structuration du DOEN (formats, propriétés, arborescence, liens)	R, A				
Décrit les responsabilités de l'entreprise en EXE sur la production des MN EXE	R, A				
Décrit les responsabilités de l'entreprise en EXE sur la production des données	R, A				
Décrit les responsabilités de l'entreprise en EXE sur la production des documents	R, A				
Produit le CDC BIM pour la cellule de synthèse	R, A				
Contient le mode opératoire de la synthèse et le recours aux maquettes numériques	R, A				
Partage les maquettes PRO dans le DCE en conformité du CDC BIM MOE	A	R			
Relecture du CDC BIM entreprise		R, A			
Analyse des offres techniques volet BIM entreprises	A	R			
Mise au point des marchés volet BIM	A	R			
<b>Phase de travaux</b>					
Produit les plans d'exécution			R, A		
Produit les maquettes numériques EXE		*R	*R, A	*R	
Réalise tout ou partie de la synthèse		*R, A	*R, A	*R, A	
Réalise les VISAS		*R, A			
Est responsable de la reprise des MN PRO en cas d'adaptations du projet		*R, A			
Réalise les relevés à l'issu de la construction suivant "mode de preuve" approprié			*R, A	*R	
Est responsable des reprises de plans d'exécution à l'issu des relevés			*R, A		
Est responsable des reprises de MN EXE à l'issu des relevés		*R	*R, A	*R	
Est responsable de la consolidation des propriétés objets (dans et hors maquette)		*R	*R, A	*R	
Vérifie et récole les MN et plans d'EXE		*R, A			
Vérifie la complétude et la fiabilité des propriétés		*R, A			
Consolide le DOE Classique et DIUO sous format numérique structuré		*R, A	*R		
<b>Phase de Gestion, Exploitation et Maintenance</b>					
Partage l'expression de son besoin avec la MOA					*R, A
Partage la donnée d'entrée aux acteurs du projet					*R, A
Contrôle l'information livrée dans le DOE numérique					*R, A
Met à jour le Système d'Informations avec les modèles numériques et l'information livrés					*R, A
Met à jour des modèles numériques et de l'information suite à travaux et maintenance					*R, A
Remonte les erreurs entre la base de connaissance numérique du projet et le terrain					*R, A
* Plusieurs acteurs peuvent endosser la responsabilité pour réalisation					
R = Responsable de la réalisation					
A = Responsable contractuellement (accountable)					
C = Consulté					
I = Informé					

Fig.54 : Matrice RACI des responsabilités

## 6.3 Valeur et usages

### Valeur patrimoniale

Sur un plan financier et économique, le patrimoine désigne l'ensemble des biens possédés par une personne physique ou une personne morale à un instant donné. Il s'agit de tous les biens meubles ou immeubles, des créances ainsi que des droits dont un individu ou une société est propriétaire.

La valeur patrimoniale est le premier élément de valorisation d'une entreprise. Elle consiste à déterminer le prix d'une entreprise en additionnant la valeur réelle de tous les biens qui la composent et en retranchant toutes les dettes.

C'est une valeur d'usage qui représente la valeur de l'actif pendant son exploitation. On ne considère pas les bénéfices à venir, et on fait abstraction des éléments hors bilan (notoriété, savoir-faire...).

### Valeur patrimoniale des Infrastructures

La valeur patrimoniale des infrastructures, constitue un sujet de première importance pour notre société, transversal et structurant. En effet, les infrastructures constituent la base matérielle de nombreux services collectifs (dispositifs de protection, de transport et approvisionnement...) au service de nos besoins fondamentaux et élémentaires.

Exemple de définition pour une infrastructure routière :

Il s'agit d'une évaluation financière du patrimoine d'infrastructures routières dont la collectivité à la charge d'entretenir. Cet objectif d'entretien régulier du patri-

### Valorisation des actifs

moine n'a de sens que si ce dernier coûte moins cher au gestionnaire que sa reconstruction à neuf. Ainsi, à l'instar du patrimoine immobilier, il convient de prendre en considération son coût, son amortissement en fonction de sa durée d'exploitation, et son entretien pour en préserver à la fois la valeur patrimoniale et sa capacité à rendre le service attendu. Le sous-investissement ou l'absence d'entretien peuvent alors conduire à sa dépréciation, ou pire, à son inadéquation progressive aux services pour lesquels les infrastructures ont été conçues, entraînant une perturbation de l'économie locale et des risques de sécurité pour les usagers.

Si le coût d'entretien est, de toute évidence, notablement moins élevé que celui de la construction, il n'existe pour autant pas de méthode standard pour évaluer la valeur d'une infrastructure (source: IDRRIM - Juin 21)

La valeur patrimoniale est déterminée en évaluant chaque bien qui figure à l'actif du bilan à sa valeur vénale (bâtiment, matériel, équipement, etc.). Cette valeur reste subjective car elle est appréciée par des experts et elle dépend de la conjoncture. Surtout, elle ne tient pas compte de la rentabilité des capitaux engagés. D'où la nécessité de l'accompagner d'une valorisation économique.

Dans le cas d'une infrastructure gérée par la personne publique, la valorisation des actifs ne rentre pas nécessairement en ligne de compte, la rentabilité n'étant pas en question. Il est plutôt ici question d'équilibre budgétaire entre le coût d'exploitation maintenance de l'actif et son financement. Les concessions autoroutières ou portuaires demandent aux acteurs privés de définir cet équilibre entre les revenus et les dépenses, en dehors de toute valeur intrinsèque de l'infrastructure rendant service aux usagers.

À titre d'exemple, les gares relevant du domaine public, les contrats signés avec les opérateurs ne sont pas des baux commerciaux mais des contrats d'occupation caractérisés par l'absence de droit d'entrée et de propriété commerciale, une durée qui tiendra compte de l'amortissement des investissements et un loyer, dont une partie est fixée en pourcentage du chiffre d'affaires réalisé. Par ailleurs, tout projet d'implantation commerciale en gare doit correspondre à un emplacement vacant et est soumis à une mise en concurrence (Source SNCF).

### Ressources d'exploitation et maintenance

Pour les opérateurs-exploitants, l'enjeu s'articule autour de deux défis a priori contradictoires :

- Optimiser la durée de vie des installations et équipements :
  - Garantir la continuité des services aux usagers,
  - Sécuriser la qualité des services fournis,
  - Prévenir les risques et accidents divers,
  - Acquérir une connaissance suffisante du patrimoine en exploitation pour préparer les transformations technologiques et écologiques.
- Accroître le rendement des installations et équipements :
  - Optimiser la disponibilité des infrastructures,
  - Minimiser le coût global de possession,
  - Améliorer l'efficacité,
  - Retarder les besoins d'accroissement de capacité.

### Gestion des déclarations

L'un des usages attendus par la digitalisation du patrimoine concerne la « gestion des déclarations ». Ces déclarations peuvent être réalisées entre différents acteurs :

- Entre le gestionnaire et la personne publique :
  - Permis de construire,
  - Déclarations de travaux,
  - Demande de permission ou d'autorisation de voirie,
  - Demande de permis de stationnement,

### Planification maintenance en conditions opérationnelles

- Demande d'autorisation d'entreprendre des travaux.
- Entre l'exploitant mainteneur et une entreprise de service :
  - Gestion des appels d'offres,
  - Gestion des ordres de service.
- Entre l'exploitant et l'utilisateur :
  - Signalement d'incident,
  - Informations montantes ou descendante.

Dans la suite du document sont nommées « Maintenance courante » et « Gros Entretien Renouvellement (GER) » les tâches relatives aux opérations nécessaires au maintien en l'état du patrimoine de technicité modérée et importante.

La norme NF X60-000 Maintenance industrielle - Fonction maintenance (Avril 2016) décompose les actions de maintenance selon leur complexité en 5 niveaux :

- Actions simples qui peuvent être effectuées par l'utilisateur/agent, à l'aide d'instructions simples et sans outillage autre que celui intégré au bien.
- Opérations courantes effectuées par un personnel qualifié / agent technique, avec des procédures détaillées et un outillage léger.
- Opérations de technicité générale effectuées par un technicien qualifié, avec des procédures complexes et un outillage portatif complexe.
- Opérations techniques de spécialité effectuées par un technicien ou une équipe spécialisée, maîtrisant une technique ou technologie particulière, avec des instructions générales ou particulières de maintenance et un outillage portatif spécialisé.
- Rénovation, reconstruction, remplacement d'une installation, d'un équipement, d'une pièce de structure ou de fonctionnement, selon un processus proche de sa fabrication ou de son assemblage initial.

### Planification des évolutions et travaux

Concernant la planification des évolutions et des travaux d'une infrastructure, le calcul économique établissant un bilan "coûts-bénéfices" est une composante importante de l'analyse de planification. Ses résultats sont sensibles à ses hypothèses de base :

- Les prévisions de trafic d'une part,
- L'évaluation des coûts de construction et d'évolution d'autre part.

La méthode du calcul coûts-bénéfices évolue aussi pour mieux prendre en compte les "externalités" du système considéré. En effet le bilan « couts-bénéfices » n'a plus le rôle exclusif qu'il eut naguère, et des démarches dites multicritères tendent à s'y ajouter. Les infrastructures de transport accordent un poids plus lourd aux questions de "durabilité" (économique, sociale et environnementale) dans l'évaluation et le classement de la planification des constructions et des évolutions.

La mise à disposition du gestionnaire de la maquette PRO à jour en sus de la maquette TQC représente un actif important car la maquette, allégée, est rapidement opératoire pour de nouvelles considérations de conception.

### Valeur environnementale

Pour évaluer l'impact d'un actif sur l'environnement, son propriétaire (asset manager) doit pouvoir calculer le bénéfice de chacune des mesures qu'il a mis en place. Pour ce faire, il a besoin de connaître le prix des actifs environnementaux. Or ces derniers sont dépourvus de prix alors même qu'ils ont de la valeur (généralement, prix et valeur sont confondus : le prix se réduit souvent à la seule valeur marchande d'échange des biens. Or, plusieurs catégories de biens comme les services publics ou les éléments du patrimoine naturel, demeurent sans prix apparent pour la simple raison qu'ils échappent à l'échange marchand).

### Frugalité en ressources

La stratégie de la frugalité des ressources, ou comment faire mieux avec moins, est la clé de la réussite car elle s'appuie sur des concepts ordinaires :

- Un management où les structures organisationnelles sont simples et agiles,
- Un large pouvoir d'initiative laissé aux employés dans un cadre défini,
- Un recrutement où l'expertise seule n'est pas suffisante,
- Le savoir-être et la créativité privilégiés notamment pour faciliter la coopération transverse.

### Économie circulaire

L'économie circulaire consiste à produire des biens et des services de manière durable en limitant la consommation et le gaspillage des ressources et la production des déchets. Il s'agit de passer d'une société du tout jetable à un modèle économique circulaire (définition du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires – Nov2020).

Elle s'applique à plusieurs domaines :

- L'approvisionnement durable : prendre en compte les impacts environnementaux et sociaux des ressources utilisées, en particulier ceux associés à leur extraction et à leur exploitation.
- L'écoconception : prendre en compte des impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit et les intégrer dès sa conception.
- L'écologie industrielle et territoriale : mettre en synergie et mutualiser entre plusieurs acteurs économiques les flux de matières, d'énergie, d'eau, les infrastructures, les biens ou encore les services afin d'optimiser l'utilisation des ressources sur un territoire.
- L'économie de la fonctionnalité : privilégier l'usage à la possession, vendre un service plutôt qu'un bien.
- La consommation responsable : prendre en compte les impacts environnementaux et sociaux à toutes les étapes du cycle de vie du produit dans les choix d'achat, que l'acheteur soit public ou privé.
- L'allongement de la durée d'usage des produits par le recours à la réparation, à la vente ou à l'achat d'occasion, par le don, dans le cadre du réemploi et de la réutilisation.
- L'amélioration de la prévention, de la gestion et du recyclage des déchets, y compris en réinjectant et réutilisant les matières issues des déchets dans le cycle économique.

### Certifications et labels

Il existe une grande variété de certifications et de labels environnementaux. Les produits, les services, les entreprises ont des impacts sur l'environnement : que ce soient les matières premières, l'énergie consommée, les rejets, etc. Mais à performance égale pour le client, ils n'ont pas forcément le même impact sur l'environnement, selon la manière dont ils sont conçus, produits ou gérés.

Dans le **secteur français du bâtiment**, on peut citer la **certification HQE** haute qualité environnementale, concept environnemental datant de 2004, enregistré comme marque commerciale et accompagné d'une certification « NF Ouvrage Démarche HQE » par l'AFNOR. Il vise « à limiter à court et à long terme les impacts environnementaux d'une opération de construction ou de réhabilitation, tout en assurant aux occupants des conditions de vie saine et confortable ». La HQE est inspirée du label haute performance énergétique (HPE) auquel il ajoute une dimension sanitaire, hydrologique et végétale.

Certains professionnels du bâtiment lui préfèrent la méthode britannique BREEAM, la méthode nord-américaine LEED ou australienne Green Star.

Dans le **secteur français des infrastructures**, le référentiel « **HQE Infrastructures** » valorise les projets respectueux du développement durable, au travers de 4 engagements :

- Management responsable
  - synergie et cohérence avec les projets du territoire et ses infrastructures,

- écoute des besoins et attentes,
- impacts et acceptabilité du chantier.
- Respect de l'environnement
  - Paysage et patrimoine,
  - Milieux naturels et écosystèmes,
  - Gestion de l'eau,
  - Matériaux, coproduits et gestion des déchets,
  - Energie et gaz à effet de serre.
- Qualité de vie
  - Cohésion sociale,
  - Sécurité,
  - Complémentarité des modes de transports,
  - Santé,
  - Confort acoustique,
  - Éclairage.
- Performance économique
  - Économie et coût à long terme,
  - Maîtrise foncière.

Au niveau international, la norme 14001-Management environnemental, définit des exigences précises en matière de système de management de l'environnement (SME) permettant à un organisme de :

- Déterminer ses impacts environnementaux significatifs.
- De développer une politique environnementale.
- D'établir des objectifs.
- De prendre en compte les exigences réglementaires.
- D'établir des processus lui permettant de respecter les engagements exprimés dans cette politique d'environnement
- D'engager les actions nécessaires pour accroître sa performance environnementale.

CEEQUAL est également un système international d'évaluation, de notation et de récompense de la durabilité fondé sur des preuves pour le génie civil, les infrastructures, l'aménagement paysager et les travaux dans les espaces publics.

#### Bas-carbone

En 2021, l'acte de construire des infrastructures représente 3,5 % des émissions de CO<sub>2</sub> en France (soit 22.9 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>).

L'usage des infrastructures représente 50 % (soit 325 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>) : le levier le plus fort réside donc dans les flux - mobilités, transports de personnes, de biens, de fluides, d'énergie ou de données- qui représentent à eux seuls la moitié du programme de décarbonation de la France.

Les Travaux Publics constituent ainsi une part majeure de la solution pour réussir la trajectoire de décarbonation française. Décarboner l'acte de construire est incontournable : il en va des responsabilités et des savoir-faire du secteur. Mais au-delà, c'est la décarbonation des usages à travers des infrastructures adaptées (c'est-à-dire servant une finalité environnementale durable), qui représente un levier décisif pour atteindre la neutralité carbone visée par notre pays : investir dans des infrastructures vertes soutiendra et accélérera la généralisation d'usages plus sobres et responsables.

#### Biodiversité

Les activités de la construction engendrent des impacts directs ou indirects sur la biodiversité : modification des espaces naturels, artificialisation des sols, fragmentation des milieux, pollutions diverses, des sols, de l'eau et de l'air. Les impacts sont

### Pollutions & Déchets

également liés au cycle de vie des produits de construction utilisés (extraction, fabrication, utilisation, fin de vie) :

- épuisement des ressources ;
- acidification des sols et de l'eau qui entraîne la dégradation des milieux, le dépérissement de la flore et de la faune ;
- eutrophisation (prolifération d'algues et d'espèces aquatiques perturbant l'équilibre de l'écosystème, causant l'amoindrissement voire la disparition d'espèces animales et végétales) ;
- émissions de gaz à effet de serre (réchauffement climatique)...

La prise en compte de la biodiversité doit se faire à chaque étape d'une construction ou d'une rénovation, avec des solutions adaptées aux spécificités de chaque projet. La méthodologie à appliquer est la suivante :

- Choix du site : construire sur une parcelle à faible valeur écologique.
- Diagnostic écologique : connaissance des caractéristiques du site, intégration du projet dans son environnement et limitation de son impact.
- Emprise au sol : réduction maximale afin de préserver les sols et tenter de recréer des écosystèmes pour compenser ceux qui auront été détruits.
- Biodiversité existante : préservation pendant la phase chantier en détaillant un plan d'organisation environnementale de chantier (zones d'implantation, planning d'intervention, gestion des pollutions, des sols, des risques pour la faune...).

Les enjeux de prévention et de gestion des pollutions, des nuisances et des déchets sont de plus en plus stratégiques pour les projets d'aménagement.

Par exemple, l'aménagement opérationnel privilégiant de manière croissante le renouvellement urbain et le réinvestissement des friches (notamment des friches industrielles), les partis d'aménagement retenus sont souvent conditionnés par la connaissance et la gestion préalable d'éventuelles pollutions des sols et sous-sols. Les localisations des projets peuvent également influencer sur l'exposition des populations à certaines nuisances (sonores, lumineuses...), etc.

Face à ces problématiques, des leviers d'aménagement peuvent à la fois servir à prévenir, gérer (éviter, réduire...) les pollutions, nuisances et déchets mais aussi, selon les cas, à reconvertir et recycler (les sites et sols pollués, les déchets).

### Valeur d'usage

La valeur d'usage d'un actif correspond à la valeur procurée par son utilisation dans des conditions d'exploitation effectives. Elle tient compte de la valeur initiale de l'actif minorée d'un coefficient d'usure.

La valeur d'usage d'un produit ou service fait référence à la valeur monétaire qu'un consommateur va attribuer théoriquement et plus ou moins inconsciemment à un produit ou service en fonction de l'usage qu'il en fait.

Il faut distinguer la valeur d'usage destinée à :

- L'utilisateur, c'est-à-dire le client final de l'infrastructure, qui attend des services personnels (transport, soins, loisirs...).
- L'exploitant ou le mainteneur, qui attend des services professionnels (indicateurs de performance, aide au diagnostic et à l'intervention dans le cas d'un dysfonctionnement, prédiction de défaillance...).
- Les services de secours, qui attendent des services opérationnels (alertes, informations géolocalisées, aide à l'intervention...).

<p><b>Services rendus aux mainteneurs</b></p>	<p>Pour tous ces différents types d'usages, la valeur n'est pas nécessairement une valeur marchande. Avant le démarrage d'un projet de construction ou de réhabilitation d'une infrastructure, il est donc primordial de bien lister et définir les usages attendus par chaque catégorie d'usagers.</p> <p>L'objectif du DIUO est décrit en Annexe 9.1. Le DIUO rassemble toutes les données, tel que les plans et notes techniques, de nature à faciliter la prévention des risques professionnels lors d'interventions ultérieures à la livraison des ouvrages. Ce document doit permettre de mieux intégrer, lors de la conception et pendant la réalisation d'un ouvrage, les conditions de sécurité de ceux qui auront à en assurer l'entretien.</p> <p>Les usages décrits dans le DIUO sont donc destinés avant tout aux équipes de maintenance, qui doivent intervenir en toute sécurité et efficacité.</p>
<p><b>Services rendus aux usagers</b></p>	<p>Au-delà de sa fonction première (transport, soin, loisir...), les usagers attendent de nombreux services d'une infrastructure, en termes de billetterie, d'accessibilité (PMR, parcours, temps de parcours...), de commerces, d'accès au wifi, d'information de trafic, d'alertes...</p> <p>Ces usages à destination des clients finaux doivent être évolutifs, puisque la durée de vie de ces ouvrages est très longue (plusieurs décennies). La valeur de ces usages n'est pas toujours « valorisable en termes de valeur marchande ». C'est souvent « un dû » attendu par les usagers, et qui doit donc être financé par des budgets connexes.</p>
<p><b>Confort et bien-être</b></p>	<p>De même, la valeur environnementale d'un projet est assez diffuse, puisqu'une infrastructure doit être respectueuse de la biodiversité et de l'environnement, tout en assurant une performance attendue à un coût raisonnable.</p> <p>Face à l'urgence climatique, les usagers attendent que l'infrastructure utilisée soit conforme aux enjeux « carbone » et aux nouveaux défis météorologiques, tout en assurant la sécurité, la qualité, la fiabilité, voire même, le bien-être. Toutes ces valeurs doivent donc être identifiées et valorisées par des indicateurs de performance transparents.</p>
<p><b>Interfaces des services aux usagers</b></p>	<p>Concernant les valeurs d'usage à destination des clients finaux, les services sont apportés par des applications sur téléphones mobiles, par des informations en temps réel dans les matériels de transport... Ces services sont proposés par analyse de données ouvertes (open data) collectées régulièrement et qui autorisent des prédictions de comportements par analogie avec des situations déjà rencontrées ou par extension de phénomènes similaires (big-data, machine learning...).</p>
<p><b>Interfaces des services aux mainteneurs</b></p>	<p>Concernant les valeurs d'usage à destination des mainteneurs et exploitants, la structuration des données demeure un prérequis indispensable.</p> <p>Les objets doivent être assemblés sous forme de systèmes qui répondent à une fonction et à un besoin opérationnel. Ces objets sont donc contextualisés, c'est-à-dire identifiés dans leur environnement (par exemple, la photo d'un luminaire dans un outil de GMAO n'est pas primordiale. Cependant la photo du luminaire dans son contexte, c'est-à-dire sa localisation dans l'espace, sa hauteur et son accessibilité sont des informations qui permettront une intervention mieux planifiée et sécurisée).</p> <p>Les équipements doivent être nommés (avec un nom représentatif de son système et de sa fonction) et posséder un identifiant unique qui permet de faciliter sa localisation, sa recherche et son remplacement par un équipement de même performance.</p>
<p><b>Demande d'intervention de maintenir</b></p>	<p>Le DIUO liste l'ensemble des opérations à réaliser pour intervenir sur un équipement ou un système. Cette procédure (to do list) est un prérequis pour garantir une intervention efficace et sécurisée. Cette procédure doit être mise à jour régulièrement, en fonction des modifications apportées au système mais aussi au contexte dans lequel se situe l'équipement.</p>



## Patrimoine numérique

Le patrimoine numérique désigne le patrimoine d'une organisation disponible sous forme numérique. Le but est d'assurer la sauvegarde de données essentielles pour les entreprises (bilans, comptes de résultats, fiches de paye...), mais aussi d'assurer la gestion des actifs (bâtiment et ouvrages) de l'entreprise ou de la collectivité pendant leur exploitation.

À l'image du patrimoine physique, le patrimoine numérique doit donc être préservé et géré au quotidien afin de maintenir à jour les bases de données représentatives de l'activité (documents et données des ouvrages en exploitation).

### Numérisation initiale des actifs physiques

Préalablement à la numérisation des actifs, il est indispensable d'identifier les usages qui sont envisagés, afin de structurer les données et les systèmes avec un plan nommage adapté et une liste des attributs et propriétés indispensables à la description de ces objets.

De plus, la définition des LOIN (Level Of Information Need), c'est-à-dire le niveau d'information nominal pour les opérations d'asset management et d'exploitation/maintenance, est une étape laborieuse mais indispensable, afin de définir le niveau de détail juste suffisant (et pas plus) pour que chaque utilisateur des données puisse mener correctement les missions.

- Concernant un **ouvrage ou un bâtiment existant**, il faut mener une campagne de rétro-ingénierie basée sur des relevés numériques, accompagnée d'une reconnaissance manuelle ou automatique (si cela est possible) des équipements et systèmes principaux, avec la saisie des attributs décrivant leurs propriétés et leurs caractéristiques (par exemple : marque, modèle, date de mise en œuvre, performance, appartenance à un système...).
- Concernant un ouvrage ou un bâtiment neuf, il faut réaliser l'agrégation des différentes maquettes validées des différents systèmes qui le composent, avec une vérification du niveau d'information conformément aux LOIN définis en fonction des usages identifiés. De plus, chaque maquette doit avoir un « poids » limité (de l'ordre de 300MO) afin de pouvoir être manipulée par les outils et les tablettes des opérateurs.

Un niveau de détail très élevé n'est absolument pas nécessaire pour exploiter et maintenir correctement un bâtiment ou un ouvrage. C'est même un frein, puisque cela exige une énergie considérable pour maintenir à jour ce patrimoine numérique. Ce qui est primordial, c'est :

- La **structuration** des données (hiérarchisation des équipements et des systèmes),
- La **localisation** des équipements et des systèmes (bâtiment, étage, local...),
- La **fiabilité** des informations (justesse et conformité aux LOIN définis),

L'**intégrité** des informations (responsabilité et non redondance).

### Numérisation en opérations

Au fur et à mesure des modifications apportées, à la suite d'interventions de maintenance ou des opérations de réhabilitation, les bases de données doivent être maintenues à jour, au regard des LOIN définis. De plus, des relevés numériques complémentaires peuvent être réalisés afin de compléter les bases de données graphiques.

Il est primordial de réaliser ces mises à jour en continu, car un simple écart entre l'actif physique et l'actif virtuel envoie un message négatif à l'opérateur qui n'a plus confiance dans la fiabilité des informations.

### Cybersécurité

Quel que soit l'ouvrage considéré, il faut assurer la protection du patrimoine numérique. Les informations sont toujours sensibles et doivent donc être sécurisées afin d'éviter toute malveillance. Pour cela, il est important de :

- Réaliser des audits de sécurité informatique,
- De bien identifier les personnes autorisées à consulter les données,

### Prospective Jumeau Numérique

- De bien identifier les administrateurs des logiciels et bases de données,
- De faire des sauvegardes régulières externes du patrimoine numérique.

Dans le cadre de l'exploitation/maintenance, les perspectives d'utilisation de jumeaux numériques sont prometteuses. En effet, la mise en place de capteurs sur les ouvrages et les systèmes qui le composent permettent d'obtenir des informations en temps réel sur le comportement des équipements, les performances des systèmes, les déformations et pathologies des ouvrages...

La captation des données brutes est actuellement relativement simple. Cependant, leur analyse nécessite des développements et des traitements parfois complexes.

- Dans un premier temps, il s'agira de fournir des tableaux de bord à des décideurs qui feront des choix (maintenance préventive, modèles prédictifs...)

Dans un second temps, les outils numériques prendront eux-mêmes des décisions et agiront sur les systèmes afin d'optimiser les performances à partir de simulations.

## 6.4 Besoins et responsabilités contractuelles des gestionnaires, exploitants et mainteneurs

### Besoins et responsabilités contractuelles des intervenants

Il a déjà été question au chapitre 3 concernant le Processus Visa en BIM, des nécessaires découpages opérationnels, fonctionnels et organiques pour structurer les données. Le domaine opérationnel est le domaine privilégié du maître d'ouvrage puisque celui-ci doit y exprimer ses besoins vis-à-vis de l'ouvrage à réaliser, c'est-à-dire ce qu'il en attend en termes d'usages et de maintien en condition opérationnelle. Il s'agit là de **besoins qui doivent couvrir également les besoins de l'opérateur et du mainteneur de l'ouvrage**.

En ce qui concerne les attentes vis-à-vis de la maquette telle que construite, celles-ci doivent être élaborées par le MOA dans le même esprit, à savoir celui de doter **le propriétaire, le gestionnaire et le mainteneur de l'ouvrage** du patrimoine numérique dont ils auront besoin pour assumer au mieux leurs futures responsabilités.

Il est ainsi possible de distinguer au moins **trois niveaux de besoins** :

- Besoins exprimés par le Propriétaire de l'ouvrage (ou « Asset Manager »).
- Besoins exprimés par le Gestionnaire de Patrimoine (ou « Administrateur de biens » ou « Property Manager » ou « Exploitant »).
- Besoins exprimés par le Mainteneur (ou « Facility Manager »).

### Besoins exprimés par le Propriétaire de l'ouvrage (ou « Asset Manager »)

**Les besoins et responsabilités du Propriétaire de l'Ouvrage (ou « Asset Manager ») sont principalement :**

- Se porter garant de la stratégie et de la rentabilité de son ouvrage ;
- D'assurer l'administration de l'ouvrage (sur les plans financiers, juridiques, techniques) ;
- De prendre les décisions de travaux de modifications de l'ouvrage, de locations de l'ouvrage, de vente de l'ouvrage ;
- D'engager des opérations de rénovations, de Gros Entretien, de reconstruction, voire de démolition.

Les opérations de rénovation ou de reconstruction

- Les opérations de rénovation ou de reconstruction sont des travaux permettant de rétablir la fonctionnalité initiale d'un ouvrage ou d'équipements ayant subi plusieurs dégradations au fil du temps.
- Ces opérations sont réalisées en grande partie dans le cadre de projets à part entière avec des phases plus ou moins adaptés selon l'ampleur des opérations (AVP, PRO, REA, ou directement PRO-REA, etc.). Ceci implique de reprendre les différents processus BIM pour les différentes phases de projet.
- Le DOE numérique des ouvrages, doit pouvoir servir de données d'entrée pour la réalisation de ces opérations. Ce DOE numérique, qui sera reconverti en maquette numérique de l'état initial de l'ouvrage ou l'équipement, contiendra non seulement les informations de l'ouvrage tel que construit, mais aura intégré les différentes données de maintenance ayant modifié les caractéristiques de l'ouvrage.

#### Les opérations de transformation ou démolition

- Les opérations de transformation ou démolition sont des travaux permettant d'améliorer les fonctionnalités des ouvrages et équipements en lien avec des nouveaux besoins (augmentation de la vitesse du Trafic, amélioration du confort, ajout de voies supplémentaires, augmentation du tonnage, etc.).
- Comme pour les opérations de rénovation ou de reconstruction, de type d'opération sera réalisé dans le cadre de projet à part entière, et suivra donc le même processus qui a été mentionné ci-avant

Aussi, les besoins portant sur de la « grosse rénovation – transformation - reconstruction ou démolition » et du fonctionnement sur le long terme, c'est-à-dire des interventions majeures sur le patrimoine (génie civil et équipements) demandent une connaissance approfondie des ouvrages existants. **À ce titre, le propriétaire aura plutôt besoin du DOE numérique (dont la maquette PRO à jour) pour une connaissance complète et approfondie de l'ouvrage et de ses actifs afin de pouvoir engager des opérations et projets complets de transformation.**

**Besoins exprimés par le Gestionnaire de Patrimoine (ou « Administrateur de biens » ou « Property Manager » ou « Exploitant »)**

**Les besoins et responsabilités du Gestionnaire de Patrimoine (ou « Property Manager ») sont principalement :**

- De délivrer le service aux usagers ;
- D'être l'interlocuteur principal des usagers ;
- D'assurer les opérations de commercialisation (locations / ventes / encaissements des biens), intégrant des fonctionnalités de visites virtuelles, informations sur les surfaces commercialisables, ...
- De mettre en place les contrats et services de maintenance nécessaires au bon fonctionnement et à la gestion des ouvrages ;
- De superviser les travaux de maintenance.

Ces besoins relèvent d'opérations et de gestion administrative et technique qui sont relativement quotidiens mais qui peuvent aussi faire appel aux traitements opérationnels d'éventuelles situations d'urgence (accidents, épisodes neigeux ou tempêtes, etc.). Les aspects liés au fonctionnement de l'ouvrage (schémas, synoptiques, études d'impacts) sont alors primordiaux. **À ce titre, le gestionnaire de patrimoine aura plutôt besoin de données issues d'un D.I.U.O ou d'un « DOE allégé » afin de disposer des données essentielles à la gestion quotidienne. Les exigences se situent au niveau de la simplification des outils pour atteindre la performance, notamment dans la limitation des softwares et des**

### Besoins exprimés par le Mainteneur (ou « Facility Manager »)

portails d'identification parfois très nombreux pour accéder aux différentes fonctionnalités en phase d'exploitation.

**Les besoins et responsabilités du Mainteneur (ou « Facility Manager ») sont principalement :**

- D'organiser et d'assurer le service aux infrastructures au sens **maintenance**, c'est-à-dire d'assurer l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant tout le cycle de vie du bien, destinés à le maintenir ou le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise. Ces actions de maintenance renvoient aux exigences de la norme NF X 60 000 ;
- D'organiser et d'assurer les différentes opérations de maintenance ;
- D'avoir recours aux outils de Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) et de Gestion Technique du Bâtiment (GTB) pour assurer de manière efficace et efficiente ces opérations de maintenance.

Ces opérations de maintenance peuvent se décliner de la manière suivante :

- Les opérations de maintenance courante

Une opération de maintenance courante permet de maintenir les ouvrages et équipement en bon état de fonctionnement afin qu'ils puissent assurer les fonctionnalités pour lesquelles ils ont été conçus. Ces opérations sont réalisées sur la base d'un processus de maintenance bien défini selon les cyclés prévus par les fabricants, ou dans le DIUO sur les ouvrages ou sur des éléments avec des matériaux spécifiques.

Ces opérations se font par le biais de tableurs dédié ou d'outil bien spécifiques nommés GMAO (Gestion Maintenance Assistée par Ordinateur) qui permet d'affecter le personnel et le matériel nécessaire aux opérations de maintenance courantes à des ouvrages ou équipements spécifiques à des jours bien définis en lien avec les cycles de maintenance.

À ce jour, pour les infrastructures il existe peu de maintenance courante réalisée à l'aide de GMAO, les plus avancés sont les ouvrages hydrauliques et autoroutiers, avec un développement en cours au niveau des infrastructures ferroviaires. Pour les outils existants, la plupart du temps la saisie des caractéristiques des ouvrages et équipements se fait manuellement sur la base d'un DOE et un DIUO en papier ou PDF, ce qui est assez chronophage et peut être une source d'erreur.

Avec l'avènement du DOE et du DIUO numérique, il sera possible de transférer les données nécessaires pour la maintenance courante dans les outils type GMAO ( ou également les tableurs type Excel ) directement à l'aide de table de correspondance et de processus BIM permettant d'identifier ces données bien en amont pour pouvoir les intégrer le moment venu (selon la phase du projet).

- Les opérations de maintenance préventive, prédictive ou corrective

Une opération de maintenance préventive se fait d'une manière générale sur la base des cycles de maintenance et d'entretien définies par les fabricants ou les normes qui indiquent des durées de vie de composants à remplacer pour éviter un éventuel dysfonctionnement. De plus le DIUO permet d'avoir les informations d'accès et de mise en sécurité pour ces opérations.

Pour de plus en plus d'équipements les gestionnaires d'infrastructure commencent à avoir recours à des opérations de maintenance préventives qui s'assimilent à de la maintenance prédictive, qui consistent à réaliser le remplacement des équipe-

ments sur la base de capteurs de données, couplés ou pas à des calculs statistiques. Cette solution permet une augmentation de la durée de vie des équipements tout en conservant la performance globale du système

Une opération de maintenance corrective se fait, quant à elle, à la suite d'une anomalie ou une panne détectée, et consiste à procéder à des travaux de réparation ou de remplacement des équipements ou ouvrages en question, tout en maintenant une exploitation de l'infrastructure.

Toutes ces opérations se font également sur la base de GMAO qui contiennent les données des ouvrages. Comme pour la maintenance courante, le DOE et le DIUO numérique doit permettre d'alimenter la base de données des ouvrages et équipements intégrés à la GMAO, permettant d'effectuer ce type d'opérations.

Étant donné qu'il s'agit d'opérations de réparation ou de remplacement, les données des ouvrages et équipements doivent également pouvoir être alimentées par les résultats de ces opérations, afin d'avoir une base de données à jour en fonction des travaux effectués

**Ainsi, le Mainteneur aura plutôt besoin de données issues d'un DIUO ou d'un « DOE allégé» afin de disposer des données essentielles à la maintenance quotidienne et destinée à alimenter les outils de GMAO et/ou de GTB. Les besoins de maintenance conduisent à des interventions de changement de consommables, de réparations sur les facilités de l'ouvrages (génie civil et équipement). Aussi, les mainteneurs sont très demandeurs de données techniques descriptives pour faciliter la prise en main des installations techniques mais aussi pour mieux déployer leurs outils d'exploitation de type GMAO.**

Les trois niveaux explicités ci-dessus sont des niveaux portant sur les systèmes produits et services. Ce n'est pas pour autant qu'il n'y a pas d'aspects importants pour le MOA dans le système projet pour au moins les raisons suivantes :

- La bonne réalisation dans les contraintes de temps et coûts prévus ne peut laisser indifférent le maître d'ouvrage.
- Le déroulement chronologique et les intervenants tiers est souvent indispensable à une bonne compréhension des solutions choisies et des particularités des relations futures et modes opératoires à privilégier.

L'historique de l'exécution des travaux est très utile en cas d'incidents ou de dysfonctionnements pour en élucider les causes, les solutions et les responsabilités (aspects contractuel, assurantiel et juridique).

## 7 CONCLUSION

### Le DOE numérique est une tâche à initier au plus tôt

Le DOE, et son complément le DIUO, sont un jalon de passage critique dans la vie d'un ouvrage puisqu'ils doivent permettre la prise en main de l'ouvrage terminé par les exploitants et les mainteneurs. Comme tout opérateur ou client, ceux-ci utiliseront l'ouvrage physique en se dotant d'un système d'information pour soutenir leurs opérations d'exploitation, de maintenance, de rénovations et de démantèlement. Le DOE doit répondre à la première préoccupation, sa numérisation doit répondre aussi à la deuxième préoccupation liée à la transformation numérique de toute activité. DOE et DIUO numériques constituent ainsi les premiers jalons pratiques et pragmatiques à réussir dans la perspective plus lointaine du jumeau numérique.

### Les procédures et conditions requises

#### Le DOE numérique s'inscrit dans un processus de gestion d'Information

La gestion de l'information est un processus complexe qui nécessite de la réflexion, des moyens et du savoir-faire pour :

- La collecter.
- La classer.
- L'analyser.
- La diffuser.
- La conserver.
- La mettre à jour.

#### La gestion des informations dans le référentiel d'une Maîtrise d'ouvrage ne se limite pas à un projet de construction

On comprend qu'il y a interdépendance entre les informations et les acteurs œuvrant sur l'ensemble du cycle de vie d'un projet d'infrastructure, lui-même inscrit dans un objectif plus large de services aux usagers. (La mission principale de la MOA).

L'ensemble des acteurs d'une entreprise offrant des services au public doivent pré-sider à la réflexion autour du besoin en information et de sa bonne gestion :

- On pense d'abord aux acteurs suivants :
  - Les gestionnaires de patrimoine.
  - Les exploitants.
  - Les mainteneurs.
- Mais d'autres catégories sont également parties prenantes :
  - Le juridique.
  - La finance.
  - La sécurité.
  - Les fournisseurs.
  - Les commerciaux.

#### De l'importance de l'ingénierie des systèmes

C'est une tâche qui engage l'avenir et pour la réussir, il ne faut pas hésiter à la fonder sur une structuration des données couvrant l'ensemble de l'ingénierie d'un ouvrage (opérationnel, fonctionnel et organique – vision dynamique de l'ensemble du cycle de vie – ingénierie des exigences) comme l'enseigne l'ingénierie des systèmes et pas seulement sa réalité organique captée dans une maquette numérique. La vision opérationnelle exprimant dès l'amont les besoins des exploitants, mainteneurs, utilisateurs impactés, usagers en est le bon point de départ. La collecte des données est à organiser depuis l'amont et est une tâche de fond tout au long du processus de conception et de réalisation.

**La gestion numérique doit maintenir un objectif de frugalité et penser constamment à sa plus-value**

**Le DOE numérique se constitue au fil de l'eau et sa validation doit être démarrée rapidement.**

**Une gestion collective du changement à mettre en place sous le leadership des maîtres d'ouvrages**

Les informations suivies doivent être choisies avec soin par la sphère de l'exploitation maintenance afin de ne pas alourdir inutilement la connaissance patrimoniale et la gestion des ouvrages.

La gestion numérique doit servir la gestion physique des ouvrages et ne pas devenir également un poids pour le processus global de gestion.

La Maîtrise d'ouvrage doit avoir en tête la pérennisation des données incluses ou non dans la maquette en prenant soin de définir des formats informatiques adaptés et adéquats.

L'expérience a montré que la validation des modèles numériques et de l'information, quelle que soit sa forme, prend du temps. Il est impératif de démarrer ce processus au plus tôt pendant la phase VISA afin de fiabiliser l'Information quand la ressource est mobilisée. Opérer ce travail long et minutieux à la livraison de l'ouvrage est *a priori* illusoire.

Cette organisation du travail est à préciser dans les cahiers des charges de tous les intervenants. La refonte des processus qui peut être nécessaire demandera des outils et des changements de pratiques qui ne sont pas aisés à obtenir. D'ailleurs, les outils disponibles ne permettent pas d'envisager d'emblée toute la complexité des tâches. Face à l'ampleur de cette transformation, les maîtres d'ouvrage doivent oser le changement. Dans l'élaboration de ces cahiers des charges, il est souhaitable que les maîtres d'ouvrage, avec la concertation des maîtrises d'œuvre et des entreprises, se concentrent sur les besoins les plus créateurs de valeurs auprès des exploitants et des mainteneurs, et également élaborent des plans de transformation sur plusieurs années pour aménager un rythme de progrès soutenable tant financièrement que par le besoin des plus grandes compétences requises.



# TABLE DES MATIÈRES

<b>I</b>	<b>RÉSUMÉ / ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
	<b>Résumé.....</b>	<b>2</b>
	Préconisation d'un processus visa en bim .....	2
	Validation d'une maquette TQC .....	2
	Contraintes techniques et juridiques .....	2
	Préconisations pour la composition d'un DOE numérique .....	2
	<b>Abstract .....</b>	<b>2</b>
	Recommendation for a bim approval process .....	3
	Validation of an as built model.....	3
	Technical and legal constraints .....	3
	Recommendations for the composition of a digital handover.....	3
	<b>Abréviations .....</b>	<b>3</b>
	<b>Glossaire / Vocabulaire .....</b>	<b>5</b>
	Notions complémentaires.....	5
	<b>Mots clés principaux (Fra) .....</b>	<b>5</b>
	<b>Mots clés spécifiques au livrable (Fra) .....</b>	<b>5</b>
	<b>Main key words (Eng).....</b>	<b>5</b>
	<b>Deliverable key words (Eng) .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
	<b>Architecture et objectifs du document .....</b>	<b>6</b>
	Le processus de visa au cœur des processus de réception .....	6
	Repenser les processus de réception tout au long du déroulement du projet .....	6
<b>3</b>	<b>PRÉCONISATION D'UN PROCESSUS VISA EN BIM .....</b>	<b>7</b>
	<b>Vocabulaire et Définitions .....</b>	<b>7</b>
	<b>3.1 Dimensions BIM en phase travaux.....</b>	<b>7</b>
	<b>Objectifs métiers en phase travaux.....</b>	<b>7</b>
	Définition Objectif métier.....	7
	Définition Usage BIM.....	7
	Classification et numérotation.....	7
	Besoins opérationnels.....	8
	Vérification de leur prise en compte .....	8
	Des prérequis pour la réalisation des objectifs métiers .....	8
	<b>Correspondances usages et missions .....</b>	<b>8</b>
	<b>Objectifs liés aux contrôles / Visa .....</b>	<b>9</b>
	<b>Découpages opérationnel, fonctionnel et organique .....</b>	<b>9</b>
	<b>Exigences / Performances.....</b>	<b>10</b>
	<b>Reconnaitances avant les travaux .....</b>	<b>11</b>
	<b>Contrôles pendant les travaux.....</b>	<b>11</b>
	<b>Contrôles après les travaux.....</b>	<b>11</b>
	<b>3.2 Rappel du processus « classique » de VISA des documents d'exécution .....</b>	<b>12</b>
	<b>Définition de la mission « VISA ».....</b>	<b>12</b>
	<b>Organisation du VISA et ses critères.....</b>	<b>12</b>
	Modalités d'examen et de VISA des documents d'Exécution, leurs circuits et processus .....	12
	Circuit de diffusion et d'examen .....	13
	Les rôles et responsabilités des divers acteurs sont à préciser .....	13
	Les statuts d'examen pour qualifier la nature et le résultat de l'examen .....	13
	Un statuts d'avancement pour qualifier le niveau de maturation du document commenté .....	14
	<b>3.3 Préconisations pour un processus VISA en BIM.....</b>	<b>15</b>
	<b>Documents de référence .....</b>	<b>15</b>
	<b>Cadre pour un processus VISA en BIM .....</b>	<b>15</b>

Usages BIM attendus à définir précisément .....	16
Rôles et responsabilités des intervenants sont à définir pour toutes les phases d'un projet.....	16
Rôles côté MOE : distinguer les fonctions strictement relevant de connaissances informatiques et les fonctions relevant des connaissances métier de l'acte de construire.....	16
Rôle côté Entreprise d'Exécution : là aussi distinguer fonctions informatiques et métiers .....	16
Planification de production des maquettes numériques .....	17
Spécifications et organisation des maquettes numériques .....	17
Principes de Structuration des données des bases de données .....	17
Lister les livrables attendus .....	18
Établir des protocoles de collaboration et utiliser des outils adaptés de plateformes collaboratives.....	18
Préparation des points de vue graphiques d'examen de la maquette .....	19
Préparation des sélections .....	19
<b>Flux des informations au cours d'un projet.....</b>	<b>20</b>
Accès par une plateforme collaborative .....	20
Gestion électronique des documents de la phase réalisation .....	20
Gestion électronique des fichiers de maquettes numériques des entreprises .....	20
Outils de navigation au sein des modèles.....	20
Fonctionnalités attendues des outils de navigation.....	20
Anticiper les besoins et les ressources de formation.....	21
Associer et mobiliser les processus et documents du Contrôle qualité.....	21
<b>Qualification d'état de validation d'une maquette numérique .....</b>	<b>22</b>
Introduire des valeurs pour agréger les informations de validation de chaque composant ou sous-système .....	22
<b>Description Outils : la CAO ou conception métier, la GED pour gérer la documentation technique, le visualiseur.....</b>	<b>23</b>
Fonctionnalités attendues .....	24
<b>3.4 Présentation d'un processus VISA en BIM.....</b>	<b>24</b>
<b>Présentation globale du processus VISA en BIM (Logigramme).....</b>	<b>24</b>
<b>Structuration du logigramme .....</b>	<b>25</b>
Domaine d'application pour tous types d'infrastructures .....	25
Les acteurs / Intervenants .....	26
<b>Présentation détaillée du logigramme .....</b>	<b>26</b>
Phase amont : mise en œuvre du BIM sur un projet.....	26
Production des Maquettes Numériques d'Exécution .....	27
Visa des Maquettes Numériques .....	29
Visa des documents d'Exécution .....	29
Évolution durant les travaux .....	30
Les demandes de modifications de travaux (DM) .....	30
Les non-conformités (NC).....	30
Contrôles pendant et après les travaux.....	30
Interventions durant l'exécution des travaux .....	30
Production du DOE Numérique.....	30
<b>Conclusions.....</b>	<b>31</b>
Quel sont les bénéfices attendus ?.....	31
Quels sont les freins ?.....	31
<b>4 VALIDATION D'UNE MAQUETTE TQC .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>33</b>
<b>Des modélisations en cours d'exécution à la production d'une maquette tel que construit .....</b>	<b>33</b>
Méthodologies de relevés topographiques pour la réalisation d'une maquette numérique TQC .....	33
<b>4.2 Attentes MOA.....</b>	<b>35</b>
<b>Attentes objectifs BIM .....</b>	<b>35</b>
Maquette numérique, DOE et BIM dans le CCAG.....	35
DOE/DIUO BIM et continuité numérique pour les opérations ultérieures.....	35
<b>Les exigences se situent au niveau d'information, au niveau géométrique et au niveau des liaisons entre maquette et documents.....</b>	<b>35</b>
Niveau d'information.....	36
Codification et localisation .....	36
Convention de nommage des documents .....	36
Niveau géométrique.....	37
Exigences sur la liaison objet BIM/document.....	38
Solution de la liaison entre GED et maquette .....	38
Solution par paramétrage des objets de la maquette .....	38

<b>Tolérances</b> .....	<b>39</b>
Expression des tolérances (selon phase d'étude, selon projet, selon l'usage...) .....	39
<b>4.3 Démonstrateur</b> .....	<b>40</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>40</b>
<b>Description Projet</b> .....	<b>40</b>
Programme .....	40
Cadre contractuel .....	40
Exigences BIM du maître d'ouvrage alors encore expérimentales et partielles .....	41
Performances attendues .....	41
Expérimentation de modalités mises en œuvre et renseignements collectés .....	41
Données sorties sous un seul modèle numérique .....	41
Cas d'usage Métier traités avec le BIM .....	41
<b>Structuration des maquettes</b> .....	<b>42</b>
Découpage en plusieurs modèles de conception et introduction de modèles spécifiques pour l'exécution .....	42
Nommage tardif .....	42
Propriétés .....	42
Attributs .....	42
Systèmes des lots techniques difficiles à traiter .....	42
<b>Acquisition données</b> .....	<b>42</b>
Outils / Moyens technologiques .....	42
Outils Logiciels pour les réseaux .....	43
Outils Logiciels pour le génie-civil .....	44
Outils Logiciels pour la synthèse .....	45
Outils Logiciels pour le suivi du traitement des incohérences .....	45
Autres Outils Logiciels .....	46
Processus .....	46
<b>Résultats</b> .....	<b>46</b>
Livrables numériques .....	46
Opérations Préalables à la Réception .....	47
DOE Numérique .....	47
<b>Bilan / Enseignements</b> .....	<b>48</b>
Plateforme numérique fiable et robuste mais aussi permettant une gestion des droits d'accès. ....	48
Les décisions de Structuration / Classification doivent être prises dès l'amont du projet .....	49
Les outils de Validation / Qualification décentralisés sont indispensables .....	49
Responsabilités séparées des intervenants BIM et des intervenants métier .....	49
Aucun résultat relatif au DIUO .....	49
<b>4.4 Validation conception et modèles</b> .....	<b>50</b>
<b>Design checking</b> .....	<b>50</b>
Validation propriétés (attributs) .....	50
Exemple de design Checking .....	52
<b>Model checking</b> .....	<b>52</b>
Donnée conforme (au regard du BEP) .....	53
Format de validation .....	54
Validation nommage .....	54
Validation géoréférencement .....	55
IFC et Géoréférencement .....	55
<b>Requirement checking</b> .....	<b>56</b>
Exemple de Model Checking .....	56
<b>4.5 Processus de Validation Progressive d'une Maquette</b> .....	<b>58</b>
<b>Préparation Modèles à valider</b> .....	<b>58</b>
Principe de validation centrifuge depuis les validations métiers jusqu'aux validations d'intégration progressive .....	58
Traiter différemment les exigences de moyens (au début des opérations) et de résultats (à réception des matériaux et des ouvrages individuels) .....	59
<b>Contrôle en phase chantier</b> .....	<b>59</b>
Établir des points critiques et des points d'arrêt .....	59
Contrôles topographiques .....	59
Essais laboratoires et in-situ .....	59
Validation de fiches produits homologuées : .....	60
Fiche d'agrément de matériaux .....	60
Test de fonctionnement et de mise en service .....	60
<b>Contrôle en lien avec la maquette BPE</b> .....	<b>61</b>

Prérequis à ce contrôle et besoins des exploitants .....	61
<b>Rôle du BIM Manager .....</b>	<b>62</b>
Structuration modèles .....	62
Agrégation modèles .....	62
Détection conflits et incohérences (model checking) .....	62
Planification Revues .....	63
Compte-rendu .....	63
Revue de maquette .....	64
Revue de conception .....	64
Gestion des incohérences .....	64
<b>4.6 Du DOE aux modèles d'information d'actif et de l'exploitant .....</b>	<b>64</b>
<b>Les normes et modèles d'information, la nécessité d'un Environnement Commun de Données .....</b>	<b>64</b>
Distinguer les modèles d'information du patrimoine (asset) AIM & du projet PIM .....	65
Rappel du cycle de livraison de l'information .....	65
Environnement commun de données (ECD) et flux de travail .....	66
Processus vers Validation / Non-validation .....	67
Flux de traitement / Résolutions .....	68
L'archive répond au besoin d'historisation des décisions .....	68
<b>Commentaires / Annotations.....</b>	<b>68</b>
BCF ou BIM Collaboration Format .....	68
<b>Génération des plans à partir d'une maquette.....</b>	<b>69</b>
Stockage des maquettes .....	69
Stockage des plans issus des maquettes.....	69
<b>5 CONTRAINTES JURIDIQUES ET TECHNIQUES.....</b>	<b>70</b>
<b>5.1 Introduction.....</b>	<b>70</b>
Contraintes juridiques et techniques .....	70
<b>5.2 Cadre juridique et contractuel.....</b>	<b>70</b>
Les évolutions du DOE.....	70
Du DOE classique au Jumeau Numérique, une transformation à plusieurs niveaux.....	70
Le cadre juridique inexistant impose de prescrire le DOE numérique par voie contractuelle .....	71
Les schémas contractuels .....	72
Partage des rôles et responsabilités .....	73
RACI.....	74
Matrice RACI.....	74
<b>5.3 Contraintes technologiques ou réglementaires .....</b>	<b>75</b>
Outils d'acquisition des données.....	75
Outils et processus .....	75
Contrôle de validité des données topographiques .....	75
Outils logiciels.....	75
Processus .....	75
Normes et standards.....	75
<b>5.4 Problématiques juridiques de chaque acteur .....</b>	<b>76</b>
MOA .....	76
Expressions exigences / Performances .....	76
MOE.....	76
Constructeur .....	76
Coordinateur sécurité.....	76
Mainteneur / Exploitant .....	77
<b>6 PRÉCONISATIONS POUR LA COMPOSITION D'UN DOE-DIUO NUMÉRIQUE .....</b>	<b>78</b>
<b>6.1 Introduction.....</b>	<b>78</b>
Le DOE numérique se prescrit suivant quatre axes .....	78
<b>6.2 Prescriptions pour l'organisation et la production du DOE numérique.....</b>	<b>78</b>
Données selon des référentiels opérationnels, techniques et spatiaux indexées par le temps.....	78

Référentiel technique .....	79
Spécifier les principes d'une classification.....	80
Identification de l'actif.....	82
Règle d'identification unique d'un élément composant l'actif.....	83
Précisions techniques et quantités .....	83
Référentiel spatial.....	83
(Localisation absolue, linéaire ou locale).....	84
Géolocalisation.....	84
Principes d'une localisation linéaire .....	84
Principe d'une localisation relative au local hébergeant une activité .....	85
Référentiel temporel .....	85
<b>Formats.....</b>	<b>85</b>
Formats d'échanges.....	85
Formats d'archivages .....	86
<b>Outils concepteurs constructeurs .....</b>	<b>86</b>
Exigences opérationnelles (performances) .....	86
Maquette numérique .....	86
Système d'Informations géographiques (SIG) .....	87
Documents classés, issus de modèles numériques identifiés selon un système de numérotation rigoureux .....	88
<b>Processus de numérisation de l'existant .....</b>	<b>88</b>
Documents de références.....	88
Nuage de points, les process de digitalisation de l'existant .....	89
De la numérisation à la modélisation.....	90
La gestion des modèles .....	90
<b>Historiques et traçabilité des décisions et interventions .....</b>	<b>90</b>
<b>Déversement des données depuis les outils de la réalisation vers ceux des opérations .....</b>	<b>91</b>
Être vigilant quant aux outils de transformation des formats.....	91
Mappages de données à utiliser entre outils logiciels différents.....	91
Penser à faciliter la déclaration des équipements avec des outils interopérables .....	91
<b>Outils de gestion / d'exploitation.....</b>	<b>92</b>
<b>Répartition des rôles et responsabilités (RACI).....</b>	<b>92</b>
<b>6.3 Valeur et usages .....</b>	<b>93</b>
<b>Valeur patrimoniale .....</b>	<b>93</b>
Valeur patrimoniale des Infrastructure.....	93
Valorisation des actifs.....	94
Ressources d'exploitation et maintenance.....	94
Gestion des déclarations .....	94
Planification maintenance en conditions opérationnelles.....	95
Planification des évolutions et travaux .....	95
<b>Valeur environnementale.....</b>	<b>95</b>
Frugalité en ressources .....	96
Économie circulaire .....	96
Certifications et labels .....	96
Bas-carbone .....	97
Biodiversité .....	97
Pollutions & Déchets.....	98
<b>Valeur d'usage.....</b>	<b>98</b>
Services rendus aux mainteneurs .....	99
Services rendus aux usagers .....	99
Confort et bien-être .....	99
Interfaces des services aux usagers .....	99
Interfaces des services aux mainteneurs .....	99
Demande d'intervention de mainteneur .....	99
<b>Patrimoine numérique.....</b>	<b>100</b>
Numérisation initiale des actifs physiques .....	100
Numérisation en opérations .....	100
Cybersécurité .....	100
Prospective Jumeau Numérique.....	101
<b>6.4 Besoins et responsabilités contractuelles des gestionnaires, exploitants et mainteneurs. 101</b>	
<b>Besoins et responsabilités contractuelles des intervenants .....</b>	<b>101</b>
Besoins exprimés par le Propriétaire de l'ouvrage (ou « Asset Manager ») .....	101
Besoins exprimés par le Mainteneur (ou « Facility Manager ») .....	103

<b>7 CONCLUSION .....</b>	<b>105</b>
<b>Le DOE numérique est une tâche à initier au plus tôt.....</b>	<b>105</b>
<b>Les procédures et conditions requises.....</b>	<b>105</b>
Le DOE numérique s'inscrit dans un processus de gestion d'Information .....	105
La gestion des informations dans le référentiel d'une Maitrise d'ouvrage ne se limite pas à un projet de construction.....	105
De l'importance de l'ingénierie des systèmes.....	105
La gestion numérique doit maintenir un objectif de frugalité et penser constamment à sa plus-value .....	106
Le DOE numérique se constitue au fil de l'eau et sa validation doit être démarrée rapidement. ....	106
<b>Une gestion collective du changement à mettre en place sous le leadership des maitres d'ouvrages .....</b>	<b>106</b>
<b>8 TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>114</b>
<b>9 ANNEXES .....</b>	<b>116</b>
<b>9.1 Vocabulaire et Définitions .....</b>	<b>116</b>
<b>Relevés .....</b>	<b>116</b>
Le levé.....	116
Le levé topographique se fait sur le terrain ou à l'aide de survols.....	116
Le relevé numérique est une acquisition numérique de données.....	116
<b>Implantation.....</b>	<b>116</b>
<b>Guidage.....</b>	<b>117</b>
<b>Localisation dans un repère local non ambigu.....</b>	<b>117</b>
<b>Récolement.....</b>	<b>117</b>
<b>Auscultation en fin de chantier .....</b>	<b>117</b>
<b>Mission VISA (ou « VISA ») .....</b>	<b>118</b>
Quelles analyses sont-elles mobilisées par le processus de Visa ? Essentiellement des conformités aux besoins et exigences, des processus complets. ....	118
<b>Mission EXE (ou « EXE ») .....</b>	<b>118</b>
<b>Cas des études confiées au MOE .....</b>	<b>119</b>
<b>Cas d'études confiées aux entreprises .....</b>	<b>119</b>
<b>Réception (AOR, OPR).....</b>	<b>119</b>
Les objectifs de l'assistance à la réception.....	119
Opérations préalables à la réception (OPR) et BIM .....	119
<b>DOE .....</b>	<b>120</b>
<b>DOE obligatoire ou contractuel selon que les marchés sont publics ou privés .....</b>	<b>120</b>
Les documents du DOE en marchés publics.....	120
Les éléments du DOE en marchés publics .....	120
<b>Les documents du DOE en marchés privés .....</b>	<b>121</b>
Qui rédige le DOE ?.....	121
Que contient le DOE ? .....	121
<b>DIUO .....</b>	<b>122</b>
<b>CSPS.....</b>	<b>122</b>
<b>CT .....</b>	<b>123</b>
La mission de contrôle technique.....	123
<b>Ingénierie systèmes et notions associées .....</b>	<b>124</b>
<b>Une approche par différentes vues : opérationnelle (l'usage de l'infrastructure), fonctionnelle (le fonctionnement abstrait par modèles), organique (le comment réaliser les fonctions).....</b>	<b>124</b>
<b>Une décomposition de plus en plus détaillée tout en faisant cheminer les exigences associées.....</b>	<b>124</b>
<b>Plusieurs systèmes à considérer : produit, service et projet et selon le cycle de vie .....</b>	<b>124</b>
<b>Une démarche itérative de détail, de convergence et d'intégration.....</b>	<b>125</b>
<b>Vues, systèmes, DOE et DIUO .....</b>	<b>127</b>
<b>9.2 Outils et processus d'acquisition des données.....</b>	<b>127</b>

<b>Contrôle de validité des données topographiques : Arrêté des classes de précision de sept. 2003 ....</b>	<b>127</b>
L'arrêté précédent de 1980-----	127
La nécessité d'une nouvelle approche-----	128
Principe de fonctionnement de l'arrêté de 2003 -----	128
Cas d'usage :-----	128
Autres documents utilisables, possibilité d'utiliser le cadastre :-----	129
<b>Outils logiciels et gestion de la donnée .....</b>	<b>129</b>
Historisation des décisions-----	129
Plateformes collaboratives sur le Cloud -----	129
- Pérennité des données-----	130
- Sauvegardes / Archivage lorsque le projet est terminé -----	130
<b>Processus .....</b>	<b>130</b>
Identification des acteurs pendant saisie des données -----	130
Responsabilités -----	130
<b>Normes et standards.....</b>	<b>132</b>
Normes de structuration des données des infrastructures...-----	132
... et les métadonnées de traçabilité -----	132
<b>9.3 Partage des rôles et responsabilités dans la constitution du DOEN.....</b>	<b>133</b>
<b>9.4 Liste des systèmes de classification .....</b>	<b>134</b>
<b>9.5 Présentation globale du processus VISA en BIM .....</b>	<b>137</b>



## 8 TABLE DES ILLUSTRATIONS

### Sommaire des illustrations

Fig.1 : Liste des objectifs métiers et des usages BIM (MINnD S1 – Livrable 025 Guide d'application du BIM Infra) .....	8
Fig.2 : Synthèse des principales phases, principaux acteurs et actions attendues en Phase d'Exécution / Réalisation des travaux jusqu'à la Réception.....	9
Fig.3 : Cycle en V.....	10
Fig.4 : Circuit de diffusion et d'examen des documents d'étude et d'exécution.....	13
Fig.5 : Concepts du CDE (Environnement de Données Commun) de la norme ISO 19650.....	20
Fig.6 : Table de correspondance entre les maquettes et les documents associés et leurs statuts gérés par la GED.....	23
Fig.8 : Détail du logigramme (Partie 1).....	26
Fig.9 : Schéma de mise en œuvre du BIM sur un projet (MINnD S1).....	27
Fig.10 : Détail du logigramme (Partie 2).....	28
Fig.11 : Détail du logigramme (Partie 3).....	29
Fig.12 : Détail du logigramme (Partie 4).....	30
Fig.13 : Détail du logigramme (Partie 5).....	30
Fig.14 : Détail du logigramme (Partie 6).....	31
Fig.15 : Conclusion du livrable « Relevés Numériques » de MINnD Saison 1.....	34
Fig.16 : Spécifications des modèles pour les ponts et les tunnels (BIM INFRA, Danemark).....	38
Fig.17 : Rond-Point des Lavandes donnant accès à l'Aéroport de Marseille Provence (AMP).....	40
Fig.18 : Voirie et signalisation horizontale.....	43
Fig.19 : Réseaux CFO / CFA / EP / Équipement électriques.....	44
Fig.20 : Modèle 3D du génie-civil.....	44
Fig.21 : Positionnement des équipements + signalisation verticale.....	45
Fig.22 : Collision entre réseau EP et génie-civil.....	45
Fig.23 : Suivi de la qualité des pieux.....	46
Fig.24 : Information sur un problème de qualité identifié sur un pieu.....	46
Fig.25 : Préparation du DOE (liens hypertextes entre Navisworks et la plateforme Kroqi).....	47
Fig.26 : Plan de correspondance entre la classification AMP et les attributs des objets dans REVIT.....	48
Fig.27 : DOE numérique livré à AMP.....	48
Fig.28 : Processus de design Checking SYSTRA.....	50
Fig.30 : Parallélisme entre validation métier et validation des modèles.....	54
Fig.31 : Model Checking eLODy, Étude caténaire SYSTRA, les dix erreurs les plus importantes.....	57
Fig.32 : Model Checking eLODy, Étude caténaire SYSTRA, vérification spécifique d'une classification appliquée.....	57
Fig.33 : Model Checking eLODy, Étude caténaire SYSTRA, Répartition du modèle par propriété pour vérification géométrique visuelle.....	58
Exemple de validation et coordination progressive sur projet ferroviaire.....	59
Fig.34 : ISO 19650, progression des exigences en matière d'information.....	62
Fig.35 : Matrice de collisions de la ligne 15 sud – Grand Paris Express.....	63
Fig.36 : ISO 19650 Cycle de vie de la gestion de l'information d'un actif.....	66
Fig.37 : ISO 19650 Concept des statuts des informations au sein du CDE.....	67
Fig.38 : Proposition de statuts des informations, relecture de la norme ISO 19650.....	68
Fig.39 : Les limites contractuelles actuelles du DOE numérique.....	71
Fig.40 : Le cadre juridique du DOE numérique.....	72
Fig.41 : Les deux schémas contractuels.....	73
Fig.42 : Partage des rôles et responsabilités dans la constitution du DOEN (Voir détail en Annexe 9.3).....	74
Fig.43 : Exemple de niveau d'informations attendues.....	79
Fig.44 : Guide technique Géfra – Jumelage des plates-formes ferroviaires et routières ou autoroutières. SETRA.....	81
Fig.45 : Les systèmes de classification et le BIM » édité par buildingSMART France – Structure type d'un système de Classification.....	81
Fig.46 : Classification SYSTRA, exemple portant sur trois niveaux des systèmes de signalisation.....	82
Fig.47 : Exemple de décomposition d'un projet ferroviaire par actifs.....	83
Fig.48 : Exemple d'implantation d'un massif de signalisation par rapport au rail extérieur.....	84
Fig.49 : Étude SYSTRA, projet SNCF AFNT, Nom de la caténaire découlant de son implantation kilométrique.....	85
Fig.50 : Exemple d'un référentiel Gares et infrastructures SNCF formalisé sur QGIS.....	88
Fig.51 : Exemple de structuration d'un DOE SNCF Réseau.....	88

Fig.52 : Relevé numérique (nuage de points colorisé et géoréférencé) d'un tunnel existant (source Bouygues TP) ..... 90

Fig.53 : Modification des outils et des formats entre la conception/construction et la GEM..... 91

Fig.54 : Matrice RACI des responsabilités ..... 93

Fig.55 : Illustration des concepts de l'ingénierie des systèmes et des domaines des DOE et DIUO ..... 126

## 9 ANNEXES

### 9.1 Vocabulaire et Définitions

<p><b>Relevés</b></p> <p style="text-align: right;"><b>Le levé</b></p> <p><b>Le levé topographique se fait sur le terrain ou à l'aide de survols</b></p> <p><b>Le relevé numérique est une acquisition numérique de données</b></p>	<p><b>Le relevé<sup>10</sup></b> désigne très généralement l'action de noter par écrit ou par un dessin</p> <p><b>Le levé<sup>11</sup></b> désigne l'action de faire, sur le terrain ou à l'aide de photographies aériennes, les opérations géométriques nécessaires pour tracer un plan, une carte...</p> <p>Dans le contexte de la construction (bâtiment, génie civil, aménagement et infrastructures), les levés et relevés rencontrés les plus fréquemment sont les suivants.</p> <p><b>Le levé topographique<sup>12</sup></b> a pour objectif de récolter des données existantes sur le terrain. Ces données peuvent concerner les objets résultant de l'activité humaine, la végétation, l'hydrographie et l'orographie. Les levés s'appuient pour repérer spatialement les objets relevés sur le canevas géodésique et de nivellement général de la France ainsi que sur des repères locaux préalablement implantés pour les besoins d'une opération particulière. Un levé fait appel à des opérations soit directes sur le terrain, soit par des survols photogrammétriques.</p> <p><b>Un relevé numérique<sup>13</sup></b> correspond à l'acquisition « numérique » de données présentant l'état actuel :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D'une zone dédiée à un aménagement futur.</li> <li>• D'une réalisation existante.</li> </ul> <p>Cette acquisition est le résultat d'une récolte de données topographiques du terrain :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Semis de points.</li> <li>• Lignes de crêtes.</li> <li>• Fonds de bassins.</li> <li>• etc.</li> </ul> <p>Ces données sont mises à une échelle adaptée pour être retranscrites sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un plan.</li> <li>• Une carte.</li> <li>• Une maquette numérique.</li> </ul> <p>Ces opérations peuvent être menées indifféremment lors de la programmation d'un projet, ou durant la réalisation d'un projet, à sa réception ou lors de l'exploitation.</p>
<p><b>Implantation</b></p>	<p><b>L'implantation</b> est l'opération qui consiste à reporter sur le terrain, suivant les indications d'un plan, la position d'ouvrages, d'axes ou de points isolés dans un but de construction ou de repérage.</p> <p>C'est là une action préalable à toute construction très souvent répétée lors de la réalisation d'un projet de bâtiments ou d'infrastructures.</p>

<sup>10</sup> Larousse

<sup>11</sup> Larousse

<sup>12</sup> Wikipédia

<sup>13</sup> MINnD Saison I – Th1 Relevés numériques

### Guidage

**Le guidage**<sup>14</sup> est le processus visant à imposer une trajectoire à un engin de chantier ou à un robot en référence à une trajectoire donnée, à une tâche assignée ou à une loi de mouvement déterminée à l'aide de plans ou de maquettes numériques. Le guidage peut nécessiter une intervention humaine à distance [téléguidage] ou être assuré automatiquement à bord de l'engin [autoguidage].

### Localisation dans un repère local non ambigu

**La localisation** d'un objet ou d'une particularité physique liée à un objet est celle de la détermination de sa position dans un repère local remarquable, non ambigu et localement identifiable.

### Récolement

**Le récolement** (à ne pas confondre avec le mot « recollement ») est une opération qui consiste à :

- Dénombrer un ensemble d'objets répertoriés dans un inventaire ;
- Vérifier la conformité d'une opération, d'un objet à un ensemble de règlements ou de prescriptions contractuelles.

Dans le domaine de la construction, un récolement est une opération consistant en fin de chantier, à relever ce qui a été réalisé, puis à le comparer avec le projet initial.

Le contrôle peut s'appliquer au décalage horizontal, vertical, à celui des cubatures, etc. C'est le cahier des charges qui définit les objectifs initiaux, en indiquant pour chaque cas les tolérances possibles (« à tant de centimètres près... »). En fonction des résultats à l'achèvement du chantier, ceux-ci peuvent être ou non validés, avec des pénalités éventuelles.

Il s'agit d'une étape évidemment très importante, qui ne peut être réalisée que par des géomètres indépendants, garants de la précision des mesures effectuées.

### Auscultation en fin de chantier

Dans le domaine de la construction, l'auscultation est un ensemble d'opérations d'examen et de contrôle d'un ouvrage d'art, conduites à la suite de constatations traduisant un comportement anormal des structures considérées (Larousse).

Une fois l'ouvrage d'art livré, on va observer les mouvements de structure qui peuvent se produire à long terme. En effet, la construction peut subir des déformations, le sol se modifier... En ce qui concerne certains bâtiments (barrages ou centrales nucléaires par exemple), la stabilité est primordiale, et réclame un haut degré de précision (au millimètre voire au dixième de millimètre).

À cette fin sont développés des instruments et des méthodologies spécifiques : il s'agit quasiment d'inventer à chaque fois une nouvelle façon de penser pour s'adapter à la situation particulière où l'on se trouve. Tous les grands bâtiments publics tels que la pyramide du Louvre, la Géode, le musée du Quai Branly sont étudiés de très près en 3D. Il en est de même pour les grands ouvrages de travaux publics tels que viaducs, tunnels, barrages, centrales nucléaires, installations militaires sensibles...

<sup>14</sup> Larousse, particularisé au domaine de la construction.

### Mission VISA (ou « VISA »)

Quelles analyses sont-elles mobilisées par le processus de Visa ?  
Essentiellement des conformités aux besoins et exigences, des processus complets.

Suivant en cela les prescriptions du Code de la Commande Publique, le Maître d'œuvre s'assure que les documents produits par les entreprises lors de la réalisation des études d'exécution par celles-ci, respectent les dispositions du projet et dans ce cas, leur délivre un visa.

L'examen de la conformité au projet des études d'exécution et de synthèse faites par le ou les entrepreneurs ainsi que leur visa par le Maître d'œuvre ont pour objet d'assurer au Maître de l'Ouvrage que les documents établis par l'entrepreneur respectent les dispositions du projet établi par le Maître d'œuvre. Le cas échéant, le Maître d'œuvre participe aux travaux de la cellule de synthèse.

« L'examen de conformité au projet comporte la détection des anomalies, normalement décelables par un homme de l'art. Il ne comprend ni le contrôle, ni la vérification intégrale des documents établis par les entreprises. La délivrance du visa ne dégage pas l'entreprise de sa propre responsabilité. » (Référence complémentaire, publié au Moniteur du 15/07/1994 – Guide à l'attention des Maîtres d'Ouvrages).

Le **VISA**<sup>15</sup>, examen de conformité des études d'exécution établis par l'Entrepreneur, analyse :

- La conformité aux hypothèses du marché de travaux (performances et descriptions fonctionnelles des ouvrages, méthodes de calcul et résultats) ;
- Le respect des règles de l'Art (Règlements, normes et DTU) ;
- La conformité aux enveloppes (et/ou volumes utiles) définies par le marché de travaux ;
- La conformité aux caractéristiques et spécifications des matériaux, matériels et système du marché de travaux ;
- La conformité des modes de fonctionnement des équipements techniques ;
- Que l'entreprise a bien effectué les calculs nécessaires au dimensionnement et qu'elle en a tenu compte dans l'établissement de ses plans ;
- Que ces calculs ont été effectués selon un processus correct et agréé et que les ordres de grandeur des résultats ne sont pas erronés ;
- La conformité à toutes autres prescriptions et spécifications du marché de travaux.

### Mission EXE (ou « EXE »)

Les **Études d'exécution**<sup>16</sup> permettent la réalisation de l'ouvrage. Elles ont pour objet, pour l'ensemble de l'ouvrage ou pour les seuls lots concernés :

- D'établir tous les plans d'exécution et spécifications à l'usage du chantier ainsi que les plans de synthèse correspondants,
- D'établir sur la base des plans d'exécution un devis quantitatif détaillé par lot ou corps d'état,
- D'établir le calendrier prévisionnel d'exécution des travaux par lot ou corps d'état,

D'effectuer la mise en cohérence technique des documents fournis par les entreprises lorsque les documents pour l'exécution des ouvrages sont établis partie par la maîtrise d'œuvre, partie par les entreprises titulaires de certains lots.

<sup>15</sup> Source : GUIDE PRATIQUE sur l'application des missions VISA / EXE / Synthèse Domaine Bâtiment, SYNTEC Ingénierie, Mai 2008 (indice 7)

<sup>16</sup> Source : Guide à l'intention des Maîtres d'Ouvrage publics Loi MOP – Domaine Infrastructure.

### Cas des études confiées au MOE

**Les Études d'Exécution (mission EXE), permettent la réalisation de l'ouvrage. Elles ont pour objet, pour l'ensemble de l'ouvrage ou pour les seuls lots concernés :**

- D'élaborer les schémas fonctionnels, les notes techniques et de calcul qui précèdent et commandent celles des plans d'exécution ;
- D'établir tous les plans d'exécution, repérages et spécifications à l'usage du chantier ainsi que les plans de synthèse correspondants ;
- D'établir, sur la base des plans d'exécution, un devis quantitatif détaillé par lots ;
- D'établir le calendrier prévisionnel d'exécution des travaux par lots ;
- D'effectuer la mise en cohérence technique des documents fournis par les entreprises lorsque les documents pour l'exécution des ouvrages sont établis en partie par la maîtrise d'œuvre, en partie par les entreprises titulaires de certains lots.

### Cas d'études confiées aux entreprises

**Lorsque les études d'exécution sont, partiellement ou intégralement, réalisées par les entreprises, le maître d'œuvre s'assure que les documents qu'elles ont établis respectent les dispositions du projet et, dans ce cas, leur délivre son visa (cf. Mission « Visa » décrite précédemment).**

## Réception (AOR, OPR)

### Les objectifs de l'assistance à la réception

**La réception<sup>17</sup>** est l'acte par lequel maître d'ouvrage déclare accepter l'ouvrage avec ou sans réserve. Cet acte est le point de départ des délais de garantie (*CCAG Travaux – Article 41 de l'arrêté du 30 mars 2021*).

« *L'assistance apportée au maître de l'ouvrage lors des opérations de réception (AOR) ainsi que pendant la période de garantie de parfait achèvement a pour objet :*

- D'organiser les Opérations Préalables à la Réception (OPR) des travaux ;
- D'assurer le suivi des réserves formulées lors de la réception des travaux jusqu'à leur levée ;
- De procéder à l'examen des désordres signalés par le maître de l'ouvrage ;
- De constituer le dossier des ouvrages exécutés nécessaires à l'exploitation de l'ouvrage, à partir des plans conformes à l'exécution remis par l'entrepreneur, des plans de récolement ainsi que des notices de fonctionnement et des prescriptions de maintenance des fournisseurs d'éléments d'équipements mis en œuvre ».

### Opérations préalables à la réception (OPR) et BIM<sup>18</sup>

« *Dans le cadre d'une opération en BIM, le MOE a la possibilité d'utiliser la maquette numérique de réalisation comme support pour la conduite et la réalisation des OPR, en particulier pour identifier et localiser les réserves ».*

Les bénéfices de cette mise en œuvre sont identifiables à 2 niveaux :

Localisation de l'objet des vérifications dans la MN : « *...ce rattachement des opérations de vérifications à la maquette numérique n'est pas seulement visuel mais constitue une donnée : toute malfaçon, réserve ou constatation va pouvoir être liée numériquement à un ou plusieurs objets constitutifs de la maquette... »*

« *...la gestion contractualisée des opérations, via une application collaborative, va permettre d'assurer la traçabilité des réserves, et cela de leur constat à leur levée (comprenant également le suivi des délais). »*

Autre usage du BIM dans les OPR : vérifier si les niveaux de performances attendus de l'ouvrage sont atteints.

<sup>17</sup> Source : code de la commande publique

<sup>18</sup> Source : OPR et BIM – L. Bidault et C. Hassine – pages 337 et 338

« Les outils BIM mis en place lors des OPR peuvent s'avérer utiles pour suivre la levée des éventuelles réserves ou la réparation des désordres qui pourraient survenir durant la période de garantie ».

## DOE

DOE obligatoire ou contractuel selon que les marchés sont publics ou privés

Les documents du DOE en marchés publics

Les éléments du DOE en marchés publics

**Le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)<sup>19</sup>** est un document contractuel établi à la suite de l'exécution de travaux et remis au maître d'ouvrage lors de la livraison du chantier. Généralement dans la mission du maître d'œuvre ou de l'assistant à maîtrise d'ouvrage, le DOE retrace l'ensemble des travaux réalisés sur l'ouvrage.

Destiné à tous les propriétaires et exploitants successifs, il permet de faciliter l'entretien et la maintenance du bien par la compréhension de sa construction, de ses composants et de son fonctionnement. C'est pourquoi il doit comporter un ensemble d'informations indispensables.

Il est très précieux en cas de sinistre affectant l'ouvrage, car il permet alors au maître d'ouvrage de fournir des informations précises à son assureur ou aux experts afin de mieux appréhender la nature des dommages.

À la fin du chantier, le maître d'ouvrage effectue la réception des travaux et constate leur bonne exécution. Ces travaux réalisés doivent être retranscrits dans le dossier des ouvrages exécutés. Mais selon que le projet de construction relève du droit public ou du droit privé, sa constitution et sa remise ne se traitent pas de la même manière.

- **Marchés publics**

L'établissement du DOE est de la responsabilité de la maîtrise d'œuvre en sa qualité d'assistance à maîtrise d'ouvrage à réception. Cette obligation est prévue dans le Code des Marchés publics à l'article 40 du CCAG travaux (Cahier des Clauses Administratives Générales). Le maître d'œuvre, qui peut confier cette mission au coordonnateur, récupère les informations auprès de tous les corps d'état.

- **Marchés privés**

Les modalités d'établissement et de remise sont contractuelles et fixées lors de la passation du marché.

Aucune liste réglementaire des documents obligatoires n'est définie. Le DOE doit recenser l'essentiel des tâches réalisées par les différents intervenants au chantier. On doit y trouver l'essentiel, mais également les ouvrages non visibles après exécution tels que les VRD ou les branchements.

Le contenu du dossier des ouvrages exécutés est fixé à l'article 40 du CCAG travaux (Cahier des Clauses Administratives Générales) du Code des Marchés Publics. Il convient alors au maître d'œuvre d'enrichir le DOE de toute information nécessaire à la réalisation ultérieure de travaux ou de maintenance sur l'ouvrage réalisé. Il doit notamment récupérer ces informations auprès des différents intervenants au chantier (entreprises de bâtiment, bureaux d'études...).

Le contenu du DOE est fixé dans les documents particuliers du marché. Il doit comporter au minimum :

- Les plans d'exécution conformes à l'ouvrage exécuté,
- Les notices de fonctionnement,  
Les prescriptions de maintenance.

On peut également y ajouter d'autres documents tels que :

<sup>19</sup> Cf. Article 40 du CCAG Travaux du 30 mars 2021



### Les documents du DOE en marchés privés

- Les fiches techniques des produits utilisés,
- Les matériaux utilisés,
- Les avis techniques et ATEX éventuels,
- Les notices d'entretien,

Les formations à l'utilisation des équipements et du matériel

Les modalités d'établissement du DOE et de remise sont fixées au contrat lors de la passation du marché. Si le marché passé fait référence à la norme NF P 03-001, le DOE devra être constitué au minimum :

- De l'ensemble des plans d'exécution conformes aux ouvrages exécutés (plans généraux de la maîtrise d'œuvre mis à jour, plans des réseaux enterrés et plans d'exécution de chaque entreprise),
- Des notices de fonctionnement et des prescriptions de maintenance (fournies par les entreprises ou leurs fournisseurs),
- Des éléments d'équipement mis en œuvre.

### Qui rédige le DOE ?

Le dossier des ouvrages exécutés relève de la responsabilité du maître d'œuvre. Il incombe néanmoins à l'entreprise ou au mandataire du groupement qui a réalisé les travaux de rédiger le DOE.

Selon l'article 40 du CCAG, l'entreprise titulaire des travaux doit remettre au maître d'œuvre :

- Au plus tard lorsqu'il demande la réception des travaux : les spécifications de pose, les notices de fonctionnement, les prescriptions de maintenance des éléments d'équipement mis en œuvre, les conditions de garantie des fabricants attachées à ces équipements, ainsi que les constats d'évacuation des déchets,

Dans un délai d'un mois suivant la date de notification de la décision de réception des travaux : les autres éléments du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'intervention ultérieure sur l'ouvrage (DIUO).

### Que contient le DOE ?

L'article 40 du CCAG Travaux prévoit que le contenu du Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) est fixé dans les documents particuliers du marché ; il comporte, au moins, les plans d'exécution conformes aux ouvrages exécutés établis par le titulaire, les notices de fonctionnement et les prescriptions de maintenance.

Il peut également contenir :

- Les plans de récolement des réseaux enterrés ;
- Les plans d'exécution les plus représentatifs et ayant un intérêt pour la maintenance du bâtiment ;
- Les bons de garantie de certains appareils ;
- Les listes des pièces détachées, marques et références, adresse du grossiste ou agent pouvant les fournir, délai donné par le fabricant pour maintenir le stock nécessaire aux pièces de rechange ;
- La notice sur les produits d'entretien des ouvrages réalisés, les précautions pour restaurer les ouvrages, les contre-indications concernant les produits à utiliser...

Outre les documents qu'il est tenu de fournir avant ou pendant l'exécution des travaux en application de l'article 29.1, le titulaire remet au maître d'œuvre :

- Au plus tard lorsqu'il demande la réception des travaux conformément à l'article 41.1 (du CCAG travaux): les spécifications de pose, les notices de fonctionnement, les prescriptions de maintenance des éléments d'équipement mis en œuvre, les conditions de garantie des fabricants attachées à ces équipements, ainsi que les constats d'évacuation des déchets ;

- Dans un délai d'un mois suivant la date de notification de la décision de réception des travaux : les autres éléments du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'intervention ultérieure sur l'ouvrage (DIUO).

Un exemplaire des documents nécessaires à l'établissement du DIUO est également transmis au coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé.

Le défaut de remise, dans les délais ci-dessus, des documents mentionnés au présent article 40 entraîne l'application des pénalités prévues par les documents particuliers du marché.

## DIUO

Le DIUO<sup>20</sup> (**D**ossier d'**I**ntervention **U**ltérieure sur l'**O**uvrage) est obligatoire. Il rassemble toutes les données, tel que les plans et notes techniques, de nature à faciliter la prévention des risques professionnels lors d'interventions ultérieures. Ce document doit permettre de mieux intégrer, lors de la conception et pendant la réalisation d'un ouvrage, les conditions de sécurité de ceux qui auront à en assurer l'entretien.

Il est constitué dès la phase de conception par le coordonnateur de conception, mais lors de cette phase le DIUO est encore incomplet certains plans, notes techniques et notices n'étant pas encore élaborés.

Lorsque l'opération concerne un lieu de travail, le dossier de maintenance est intégré au DIUO. Les deux dossiers comprennent une partie commune, notamment les dispositions prises pour l'entretien des bâtiments, auquel s'ajoute des éléments complémentaires demandés par la réglementation propre aux lieux de travail tel que :

- Les documents nécessaires à la maintenance des installations d'éclairage, des portes et portails automatiques et les installations de désenfumage ;
- Le dossier technique de l'installation électrique pour permettre la vérification initiale de l'installation ;
- La notice d'instructions des installations d'aération et d'assainissement pour permettre d'entretenir les installations, d'en contrôler l'efficacité et d'établir la consigne d'utilisation ;
- La fiche précisant les dispositions prises pour l'accessibilité des personnes handicapées et notamment les niveaux, les services et les équipements accessibles.

En ce qui concerne les opérations de génie civil, le dossier sera adapté en fonction de la nature des risques réellement rencontrés pour les opérations de maintenance des futurs ouvrages sur le fondement de l'analyse préalable des risques.

## CSPS

La mission CSPS (Coordination de la Sécurité et de la Protection de la Santé) relève du Code du travail<sup>21</sup>. Elle s'applique aux chantiers du BTP (bâtiment et génie-civil selon 3 catégories d'importance) où interviennent une ou plusieurs entreprises et/ou travailleurs indépendants, y compris sous-traitants.

Au cours de la conception, des études et de la réalisation de l'Ouvrage, le Coordonnateur SPS établit des documents réglementés (art. R.4532-12<sup>22</sup>) tel que :

<sup>20</sup> art. R.4532-95 du code du travail et Circulaire DRT N°96- 5 DU 10 avril 1996

<sup>21</sup> art. R.4532-1 à R.4532-76

<sup>22</sup> [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)

- Le plan général de coordination (PGC) en matière de sécurité et de protection de la santé (SPS) ;
- Le Dossier d'Intervention Ulérieure sur l'Ouvrage (DIUO) ;
- Le registre-journal de la coordination (RJ) ;
- Les sujétions relatives à la mise en commun des infrastructures, de la logistique, des protections collectives et des installations électriques.

Missionné par le Maître d'Ouvrage (art. L.4532-16), le Coordonnateur SPS a la charge de la constitution et de la mise à jour du DIUO de la phase de conception à la phase de réception d'une opération de construction.

## CT

Le Contrôle Technique<sup>23</sup> est exercé par des personnes physiques ou morales dénommées **Contrôleurs Techniques** (ou Bureau de Contrôle) agréées par le ministre chargé de la construction, après avis d'une commission.

L'activité de Contrôle Technique est incompatible avec l'exercice de toute activité de conception, d'exécution ou d'expertise d'un ouvrage.

L'activité de Contrôle Technique de la construction est exercée en conformité avec la norme française NFP 03-100 relative aux critères généraux pour la contribution du contrôle technique à la prévention des aléas techniques dans le domaine de la construction.

Elle est complétée et précisée par les stipulations du présent CCTG pour les marchés publics qui s'y réfèrent.

De manière générale, et notamment en cas d'ambiguïté ou de contradiction, les dispositions du CCTG prévalent sur celles de la norme.

La mission de contrôle technique se définit par sa nature et son domaine d'intervention.

La nature est caractérisée par le choix des aléas techniques dont la prévention est recherchée.

Le domaine d'intervention est constitué par l'ensemble des ouvrages et éléments d'équipement sur lesquels porte la mission.

### La mission de contrôle technique

La détermination de la mission distingue la mission de base et les missions complémentaires.

Ce choix est explicité dans le marché qui lie le maître de l'ouvrage et le contrôleur technique. Ce choix comporte tout ou partie des missions de base et des missions complémentaires.

Les **missions de base** sont au nombre de deux :

- La mission L, portant sur la solidité des ouvrages et des éléments d'équipement indissociables ;
- La mission S, portant sur les conditions de sécurité des personnes dans les constructions.

Ces missions de base sont définies dans l'annexe A de la norme NFP 03-100.

Dans le cas du contrôle technique obligatoire, la mission minimale de contrôle technique comprend la mission L et la mission S.

Les **missions complémentaires**. - Une liste de missions complémentaires figure à l'article 5-3 de la norme NFP 03-100.

<sup>23</sup> Source : Décret no 99-443 du 28 mai 1999 relatif au cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de contrôle technique

## Ingénierie systèmes et notions associées

Une approche par différentes vues : opérationnelle (l'usage de l'infrastructure), fonctionnelle (le fonctionnement abstrait par modèles), organique (le comment réaliser les fonctions)

Une décomposition de plus en plus détaillée tout en faisant cheminer les exigences associées

Plusieurs systèmes à considérer : produit, service et projet et selon le cycle de vie

L'ingénierie des systèmes ou ingénierie système est une approche scientifique interdisciplinaire, dont le but est de formaliser et d'appréhender la conception et la validation de systèmes complexes.

L'ingénierie des systèmes a pour objectif de maîtriser et de contrôler la conception de systèmes dont la complexité ne permet pas le pilotage simple. Par système, on entend un ensemble d'éléments humains ou matériels en interdépendance les uns les autres et qui inter-opèrent à l'intérieur de frontières ouvertes ou non sur l'environnement.

Les efforts en ingénierie des systèmes embrassent l'ensemble du cycle de vie du système et leur mise en cohérence mobilise l'ensemble des corpus théoriques (sciences de l'ingénieur, sciences humaines, sciences cognitives, génie logiciel, etc.).<sup>24</sup>

Il est assez intuitif que toute infrastructure, intégrant de multiples disciplines et en interactions nécessaires ou inévitables avec un environnement lui-même complexe, peut être analysé sous l'angle d'un système en interactions avec bien d'autres systèmes.

Pour cette analyse, l'ingénierie système distingue les vues ou perspectives suivantes liées logiquement entre elles :

- Une première vue est celle de la vue opérationnelle : elle est la description de ce que le client (en infrastructures on parlera du maître d'ouvrage représentant du futur utilisateur ou gestionnaire-mainteneur) attend de l'ouvrage qu'il souhaite en des termes ne préjugant pas de la solution technique ;
- De cette vue opérationnelle décrivant en quelque sorte le problème posé, on passe logiquement à la vision fonctionnelle décrivant, en termes de solution donc, le fonctionnement attendu de l'ouvrage pour satisfaire la vue opérationnelle ;
- Puis à la vision organique décrivant elle l'ouvrage et ses composants bien réels et concrets (le comment) réalisant les fonctions et satisfaisant in fine les besoins exprimés par la vision opérationnelle.
- Pour le dire autrement :
- Le maître d'ouvrage (représentant du futur exploitant) exprime sa propre représentation des services que devra rendre l'infrastructure,
- Le maître d'œuvre représente le fonctionnement de l'ouvrage (c'est une vision théorique) et définit comment le réaliser concrètement (la vision organique),
- L'entreprise complète autant que de besoin la vision organique et la réalise.

Toutes ces perspectives se trouvent décrites selon une architecture de plus en plus détaillée en sous-ensembles ou systèmes et composants (la perspective opérationnelle n'a pas besoin d'autant de niveaux que les perspectives fonctionnelle et organique pour être décrite). La description fait appel à l'écriture d'exigences qui devront être satisfaites pour chacun des éléments d'architecture. On parle alors d'ingénierie des exigences. À noter que les dimensions de l'existant (le contexte anthropique, naturel et environnemental) font partie de la perspective opérationnelle tout comme le domaine réglementaire.

L'ingénierie système est une approche éminemment systémique : elle considère simultanément donc l'infrastructure à livrer (le système-produit ou système à faire), son usage (le système-service ou système utilisant) et son organisation de réalisation (le système-projet ou pour faire). Elle considère également l'ouvrage tout au

<sup>24</sup> Source interne.

**Une démarche itérative  
de détail, de convergence  
et d'intégration**

long de son cycle de vie : conception, construction, ouvrages temporaires, fonctionnement nominal, fonctionnements exceptionnels, accidents, entretien, réparations, déconstruction, rénovation, etc.

Si la description faite ci-dessus présente une certaine flèche logique ou chronologique, celle-ci n'est pas stricte et linéaire. En effet, la complexité ne peut se résoudre dans une telle démarche alors simpliste et la démarche de l'ingénierie doit être intrinsèquement et en permanence itérative et progressant de façon globale. Le maintien de la cohérence est l'impératif systématique et un projet ne peut être déclaré clos que lors de la satisfaction pleine et entière de toutes les exigences.

### Autoroute concédée - DOE et DIUO numériques

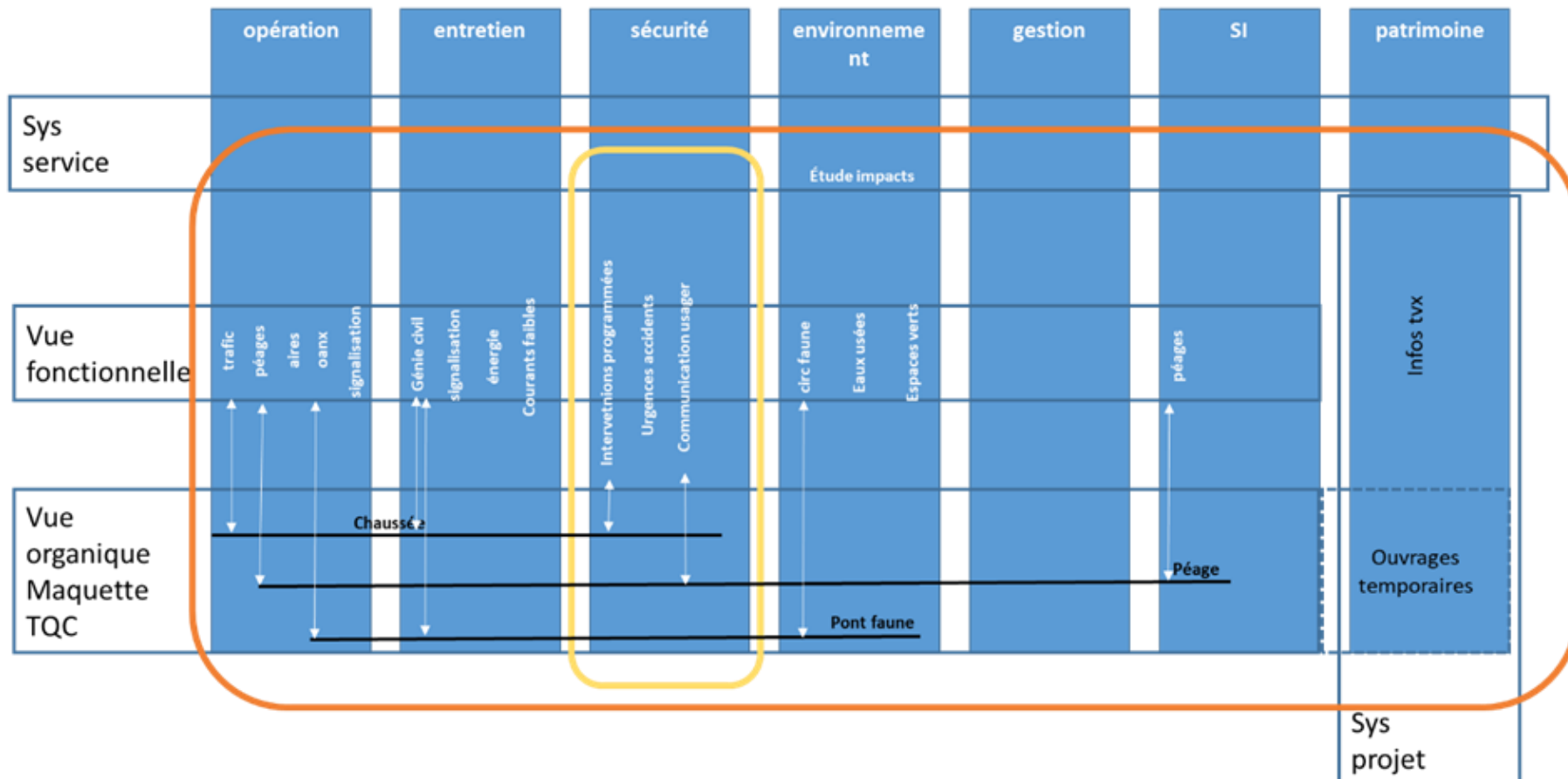


Fig.55 : Illustration des concepts de l'ingénierie des systèmes et des domaines des DOE et DIUO

### Vues, systèmes, DOE et DIUO

Les rectangles verticaux sont les éléments de l'architecture opérationnelle décomposant dans la perspective des opérations de la société concédante son usage de l'auto-route en termes d'opération quotidienne, de sécurité, de gestion et de son patrimoine, de maintien en condition opérationnelle avec l'entretien, de prise en compte de l'environnement et de son système informatique. Ces usages sont souvent conduits par des départements différents de la société concédante. C'est ainsi que se trouve visualisé par un grand rectangle horizontal allongé le système services associé à l'infrastructure physique. Le système projet trouve sa place dans la partie patrimoine pour permettre la mémoire des événements survenus durant la réalisation et la conception qui peuvent avoir leur importance dans des étapes ultérieures en particulier en cas de rénovations majeures, de reconstruction, d'extension ou démantèlement.

Ce qu'il est convenu d'appeler le système produit se trouve exprimé par les deux rectangles de même « vue fonctionnelle » et « vue organique » intersectant les éléments de l'architecture opérationnelle.

Les flèches, barres et liens illustrent qu'un même élément organique (par exemple la chaussée) est sollicité par différentes fonctions elles-mêmes répondant à divers éléments de l'architecture opérationnelle.

Comme vu précédemment, le DOE concerne l'ensemble des informations relatives aux systèmes projet / services et produit et concerne l'ensemble des architectures opérationnelle, fonctionnelle et organique.

Le DIUO en est un sous-ensemble particulièrement approfondi sur tout ce qui concerne la sécurité et la sûreté des biens et des personnes que ce soit en opérations courantes ou lors de fonctionnements dégradés.

## 9.2 Outils et processus d'acquisition des données

### Contrôle de validité des données topographiques : Arrêté des classes de précision de sept. 2003

#### L'arrêté précédent de 1980

Tous les travaux de topographie doivent être contrôlables et contrôlés. S'il n'existe pas de réglementations spécifiques pour les travaux réalisés entre acteurs privés, la législation a prévu un cadre applicable aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte. Par extension, cet arrêté peut aussi servir de base pour valider tous les types de production d'objets géographiques obtenu par levés, numérisation de fond de plan ou scannérisation.

L'arrêté des classes de précision de 2003 a remplacé l'arrêté du 21 janvier 1980 portant sur les « Tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris par les services publics (travaux prévus à l'art 1er de l'arrête du 20-05-1948) ». Pour autant cet arrêté de 1981 n'a pas été abrogé.

En 1981, le législateur, par l'intermédiaire de son service du cadastre, avait proposé un système de validation des données topographiques qui remplaçait les systèmes plus anciens. Normalement créé pour ses services, ce document s'est, par extension, généralisé à l'ensemble des travaux topographiques quel que soit le producteur et l'usage.

Ce document permettait aux producteurs de données topographiques de valider leur production en les comparant à une tolérance qui se calculait en fonction de l'outil et de la méthode utilisée pour effectuer ce levé.

Étaient concernés, « Tous les travaux visés à l'article premier de l'arrêté du 20 mai 1948 et ayant pour but l'établissement de plans graphiques ou d'ortho-photoplans



### La nécessité d'une nouvelle approche

aux échelles supérieures ou égales à 1/5 000 ainsi que les levés numériques prévus pour une échelle de représentation supérieure ou égale à 1/5 000 doivent satisfaire aux tolérances fixées par l'arrêté. »<sup>125</sup>

Ce document donnait aux professionnels de la topographie des éléments de comparaison entre ses résultats et une erreur maximale autorisée en fonction du travail réalisé. Cette méthode, bien que très efficace en tachéométrie et en nivellement classique, s'est retrouvée obsolète avec l'avènement des nouveaux moyens de production de données topographiques (GNSS, numérisation, scannérisation, LIDAR, etc.) générant un très grand nombre de données.

En 2003, le législateur a modifié cette approche pour proposer de spécifier les résultats plus que les moyens pour les obtenir. Il propose de se baser sur une analyse des écarts entre différentes données comparables d'une même zone en cherchant à évaluer les erreurs de leurs positions plus qu'une étude des erreurs moyennes quadratiques.

C'est sur ce concept qu'a été établi l'arrêté portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte.

### Principe de fonctionnement de l'arrêté de 2003

Ce nouvel arrêté des classes de précision se base sur la comparaison des données produites avec celles issue d'un lever de contrôle présentant une précision supérieure évaluée par un coefficient de sécurité (C) au moins égal à 2 avec le lever à contrôler. La vérification se fait alors sur les écarts en positionnement de 1, 2 ou 3 coordonnées des points selon le choix fait contractuellement.

Ces points de contrôle sont comparés aux points correspondants du terrain nominal. La précision d'un levé d'objets géographiques peut être spécifiée soit par un gabarit d'erreurs spécifique, soit par un modèle standard.

L'écart en position (Epos) pour un point donné, par rapport à sa position issue d'un contrôle, est défini par la distance euclidienne, c'est-à-dire la racine carrée de la somme des carrés des écarts sur chacune des coordonnées soumises à la même classe de précision. Une mesure n'est considérée comme mesure de contrôle que lorsque sont mis en œuvre des procédés fournissant une précision meilleure que celle de la classe de précision recherchée, avec un coefficient de sécurité C au moins égal à 2. C'est le rapport entre la classe de précision des points à contrôler et celle des déterminations de contrôle, classe de précision qui est elle-même évaluée selon les règles de l'art. La taille et la composition de l'échantillon d'objets géographiques de contrôle sont précisées au cas par cas par une disposition contractuelle<sup>26</sup>.

### Cas d'usage :

L'arrêté des classes de précision s'applique à toutes données géographiques, qu'elles soient issues d'un levé de terrain ou d'une digitalisation d'information. Les classes de précision de levés d'objets géographiques sont relatives aux canevas qui leur servent de référence, et s'analysent selon 2 critères indépendants : classe de précision planimétrique par rapport au canevas planimétrique, classe de précision altimétrique par rapport au canevas altimétrique. Des classes de précision différentes peuvent être spécifiées pour des types d'objets géographiques différents dans un même levé.

Dans le cas d'un levé pour lequel cet arrêté doit s'appliquer, c'est au donneur d'ordres de spécifier son modèle d'erreurs et d'assumer la prise en charge des mesures de contrôle. Il est de sa responsabilité de fixer ces critères pour les rendre contractuels vis-à-vis de son prestataire. L'arrêté spécifie sur quelles bases les cahiers des charges seront établis. Le prestataire se trouve alors informé du système de contrôle qui lui sera appliqué et qui sera son contrôleur. Il est à noter que le donneur d'ordres peut lui-même effectuer les contrôles s'il le souhaite.

<sup>25</sup><https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000288595/>

<sup>26</sup><https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000794936/>

### Autres documents utilisables, possibilité d'utiliser le cadastre :

Les documents applicables pour évaluer la qualité des informations topographiques obtenues soit par levé de terrain ou par digitalisation de documents papier sont généralement définis pour répondre aux besoins de la commande publique.

Un cas particulier de la gestion de l'information topographique publique est son usage pour les services du cadastre. Ces données n'ont, du fait de la loi, aucune valeur de positionnement vraie et elle ne sont transmises aux services fiscaux que pour établir la base d'imposition. Ces données sont donc, par principe déclaratives. Pourtant, il est à noter que les services du cadastre ont une vraie compétence en matière de positionnement topographique. Ils doivent, comme tous services fiscaux évaluer la qualité et la véracité des déclarations qu'ils reçoivent. La Direction générale des finances publiques (DGFIP) a donc publié différents documents qui régissent les déclarations faites à ses services. À titre d'exemple, dans son bulletin officiel de 2018 avec une mise à jour en 2020, la DGPIF (Direction Générale des Finances Publiques) précise les conditions de mise à jour des plans CAD ou la confection de documents d'arpentage.

Ces documents n'ont évidemment qu'une valeur fiscale mais peuvent servir à la mise en place de conditions de validation de données topographiques pour d'autres usages. Le donneur d'ordres, qu'il soit public ou privé, est en droit de s'en inspirer pour définir ses critères de validités des informations topographiques qu'il va manipuler<sup>27 28</sup>.

### Outils logiciels et gestion de la donnée

La base de connaissance d'un ouvrage est désormais constituée de nombreux formats et de nombreuses informations souvent répartis entre plusieurs acteurs tels que MOA, MOE, Entreprises et Exploitants Mainteneurs.

L'enjeu est ici d'en comprendre les problématiques afin d'anticiper les difficultés rencontrées pour gérer cette base de connaissance et de réfléchir aux incidences sur nos organisations.

### Historisation des décisions

C'est l'un des enjeux forts autour d'un actif en gestion. Les réunions décisionnaires sont nombreuses autour d'un projet et nécessitent parfois même une comitologie.

La gestion d'un projet réclame différentes revues et nous pourrions en citer quelques-unes :

- Revues analyse risques et opportunités ;
- Réunions d'avancement ;
- Réunions de suivi technique ;
- Réunions spécifiques.

Il est important pour certaines décisions d'en conserver et d'en partager l'historique. Les plateformes collaboratives illustrent une bonne réponse de traçabilité technique sur les ouvrages.

### Plateformes collaboratives sur le Cloud

Les plateformes collaboratives permettent de compléter un service de GED, une gestion des modèles IFC et des échanges au format BCF par des fonctionnalités pouvant varier d'une solution à une autre. Cette variété de services proposés, ainsi que le changement et la variété d'acteurs obligent souvent à transférer l'information d'une plateforme à une autre à défaut de pouvoir aujourd'hui les connecter entre elles.

<sup>27</sup> Issue directement de l'arrêté des classes de précision de 2003

<sup>28</sup> Pour rappel, les données cadastrales en France ne peuvent et ne doivent pas être utilisées pour définir la propriété foncière. La loi de 1946 délègue cette mission aux géomètres experts qui ne sont autorisés à utiliser cette information qu'à titre indicatif. Dans un avis de la direction du cadastre rappelle que le plan cadastral n'a qu'un but purement fiscal et sert de base au calcul de l'impôt foncier sauf dans le cas des régions Alsace et Lorraine où le cadastre est constitué comme un livre foncier.

<sup>28</sup> [https://bofip.impots.gouv.fr/bofip/8347-PGP.html/identifiant=BOI-CAD-MAJ-10-20-20-20180704#Proces-verbal\\_de\\_bornage\\_ju\\_325](https://bofip.impots.gouv.fr/bofip/8347-PGP.html/identifiant=BOI-CAD-MAJ-10-20-20-20180704#Proces-verbal_de_bornage_ju_325)

### - Pérennité des données

Il est primordial de s'assurer que l'information renseignée dans la plateforme est partageable et que l'on peut la récupérer sous une forme exploitable.

La pérennité des données permet d'assurer les usages présents et futurs que l'on pourrait en faire. Elle est à envisager selon plusieurs risques :

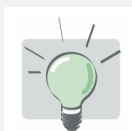
- De préservation matérielle pour prévenir le risque de disparition/destruction,
- D'accessibilité et de lisibilité pour prévenir le risque d'obsolescence des formats et outils,
- De fiabilité/crédibilité/intelligibilité pour prévenir le risque d'altération/falsification ou de perte des informations de contexte et/ou les éléments de preuve,
- D'optimisation du volume pour prévenir le risque de sur-conservation.

L'analyse de risque propre à chaque organisme permet de définir plus précisément le périmètre de la politique d'archivage. Les curseurs de niveau de service attendus de l'archivage sont ajustés pour répondre à chacune des exigences de sécurité : pérennité, intégrité, traçabilité, disponibilité et accès.

### - Sauvegardes / Archivage lorsque le projet est terminé

L'archivage répond à différents besoins parmi lesquels :

- Justifier des droits, des engagements et de l'exécution des obligations d'une entité vis-à-vis de ses salariés et de ses partenaires en cas d'audit ou de contentieux (obligations légales et règlementaires).
- Préserver et sécuriser l'information stratégique : éviter une perte d'information confidentielle.
- Avoir une disponibilité pérenne de l'information : pouvoir retrouver et utiliser les informations nécessaires en toutes circonstances
- Sauvegarder la mémoire opérationnelle d'une structure/entreprise/entité, transmettre dans le temps et garantir que l'information est fiable.
- Capitaliser le savoir-faire métier : Avoir la capacité de réutiliser l'information produite par le passé pour générer une plus-value dans le futur et contribuer à la gestion des connaissances



Les questions d'archivage sont développées par le GT1.7 de MINnDs2.

## Processus

### Identification des acteurs pendant saisie des données

Les normes emploient souvent des termes génériques, ceci afin de pouvoir s'appliquer à un grand nombre de situations. C'est pourquoi la norme ISO 19650 parle de « partie désignante » et « partie désignée ».

**Une partie désignante est l'entité qui exprime une exigence d'échange d'informations lors d'une désignation.** Par exemple, en France et selon le contexte, nous pouvons comprendre "la partie désignante principale" comme : "le client", "la maîtrise d'ouvrage", "le propriétaire" ou bien "l'exploitant de l'actif".

**Réciproquement, une partie désignée est une entité qui doit livrer de l'information à sa partie désignante (dans un contexte de cas d'usage BIM).** Pendant la réalisation d'un projet, la "partie désignée principale" est une entité qui est en relation directe avec la partie désignante principale. Par exemple, une partie désignée principale peut être : l'architecte dans un groupement de maîtrise d'œuvre, ou bien une entreprise générale de construction...

### Responsabilités

**La norme ISO 19650 distingue deux catégories majeures d'ensemble d'exigences d'information pouvant être émis par une partie désignante principale :**

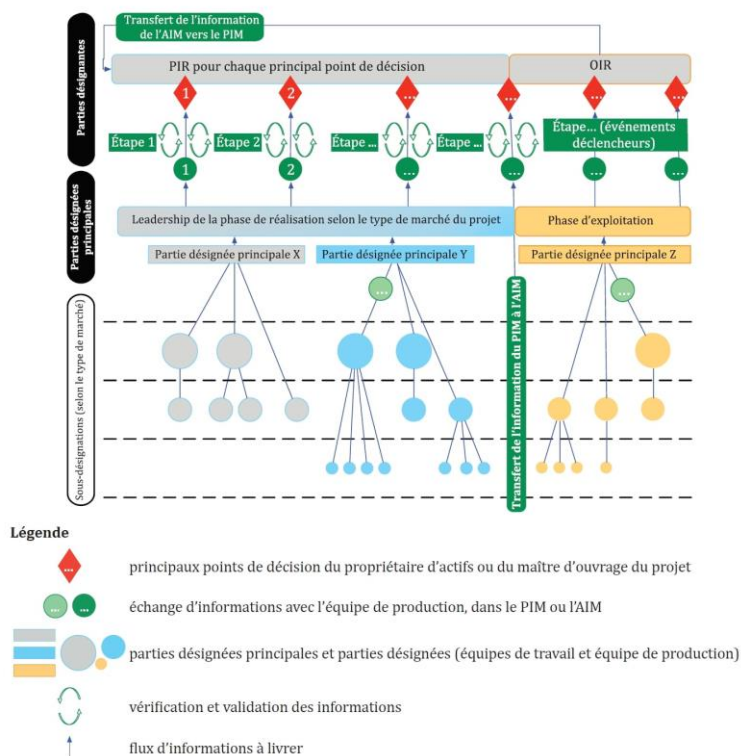
Premièrement, les ensembles d'exigences d'information lier à un actif spécifique ; nous utilisons l'acronyme "**AIR**" pour : **Asset Information Requirements**. Ces exigences d'information permettent aux personnes responsables de la gestion, l'exploitation et la maintenance d'un actif de prendre des décisions, lors d'évènements déclencheurs (prévus ou imprévus) ; **en fonction des objectifs stratégiques d'une organisation (exploitant ou propriétaire)**. Ainsi, ces objectifs concernent principalement : le Property Management ou le Facility Management. En toute logique, le DOE numérique fourni au moment de la livraison de l'actif, plus un ensemble d'AIR, définiront le contenu d'une maquette BIM-GEM (AIM).

Deuxièmement, les ensembles d'exigences d'information lier à un projet de construction ; nous utilisons l'acronyme "**PIR**" pour : **Project Information Requirements**. Ces exigences d'information permettent à une MOA de prendre des décisions, sur la base d'informations fiables et à des moments stratégiques, pendant la réalisation du projet. Enfin, PIR (mais aussi AIR) contribue à définir **la maquette du projet (Project Information Model-PIM)**.

⇒ Toute partie désignante doit fournir à la partie désignée, l'ensemble des informations de référence nécessaires à la modélisation BIM (production d'informations).

**Par la suite, les AIR et PIR se déclinent en "exigences d'échange d'informations", que l'on confiera à une ou plusieurs parties désignées principales.**

Nous parlons d'**EIR pour « Exchange Information Requirements »**. Un EIR est un ensemble d'exigences d'information, formulé auprès d'une désignation spécifique (un prestataire précis). Ensuite, chaque EIR qu'une partie désignée principale reçoit, donne lieu à une transmission « en cascade » d'EIR, jusqu'aux différents groupes de BIM modeleurs concernés.



NOTE Dans certaines situations, des échanges d'informations peuvent également avoir lieu entre des parties désignées. Pour des raisons de clarté, ces échanges n'ont pas été représentés sur la figure.

**Fig.56 : Exemple de livraison par échange d'information venant à l'appui des décisions clé: des parties désignantes (Norme ISO 19650 Part1)**

### Lors du processus de consultation, la maîtrise d'ouvrage exprime l'ensemble des EIR en fonction de ses usages BIM.

#### Normes et standards

#### Normes de structuration des données des infrastructures...

On trouvera en Annexe 9.4 la liste des systèmes de classification connus qui sont utilisés dans le monde à ce jour. Peu sont dédiés aux domaines du génie-civil et des infrastructures.

À noter que le format CoBie qui signifie signifie « Construction Operation Building Information Exchange » est le standard défini sur le marché britannique. Ce n'est pas un système de classification. Il se focalise principalement sur le format des données attributaires fournies séparément des informations géométriques de la maquette numérique.

De même, le format IFC qui signifie Industry Foundation classes, promu par l'association buildingSMART International, est un modèle de données décrivant les objets et composants des ouvrages et bâtiments construits.

Bien avant l'émergence du BIM, les acteurs de la construction ont cherché à classer les composants d'un ouvrage, afin de faciliter une compréhension collective des objets pendant toute la durée de vie de l'ouvrage et de fluidifier le transfert d'information entre les acteurs.

En effet, la mise en place d'un « référentiel commun » intégrant la classification des objets et le dictionnaire de données servirait de vocabulaire partagé entre les participants au projet lors des échanges de données (ces échanges de données doivent d'ailleurs être décrits, conformément à la norme ISO 19650, sous la forme d'un EIR : Exchange Information Requirements).

Un système universel de classification permettrait d'assurer une homogénéité dans les nommages des objets et de leurs propriétés. Cela assurerait également une pérennité des données lors des échanges réguliers durant le cycle de vie d'un ouvrage, mais aussi pour leur archivage dans un entrepôt de données.

Des classifications existent, les principales étant Unifomat, Uniclass et Omniclass. Celles-ci sont plutôt orientées « bâtiment » et donc ne couvrent qu'une partie des objets présents dans le domaine du génie-civil et des infrastructures. De plus, elles sont orientées « ouvrages bâtis à exploiter » et ne tiennent donc pas compte de la phase de construction, pendant laquelle le découpage des objets est souvent très différent du système de classification nécessaire à l'exploitation et à la maintenance.

Devant cette situation, chaque grand projet et chaque grand donneur d'ordre réinventent aujourd'hui leur propre système de classification, souvent basé sur un standard existant. Dans tous les cas, ce système doit se conformer aux principes de la série des normes ISO 12006 « Organisation de l'information des travaux de la construction » afin de favoriser les échanges de données.

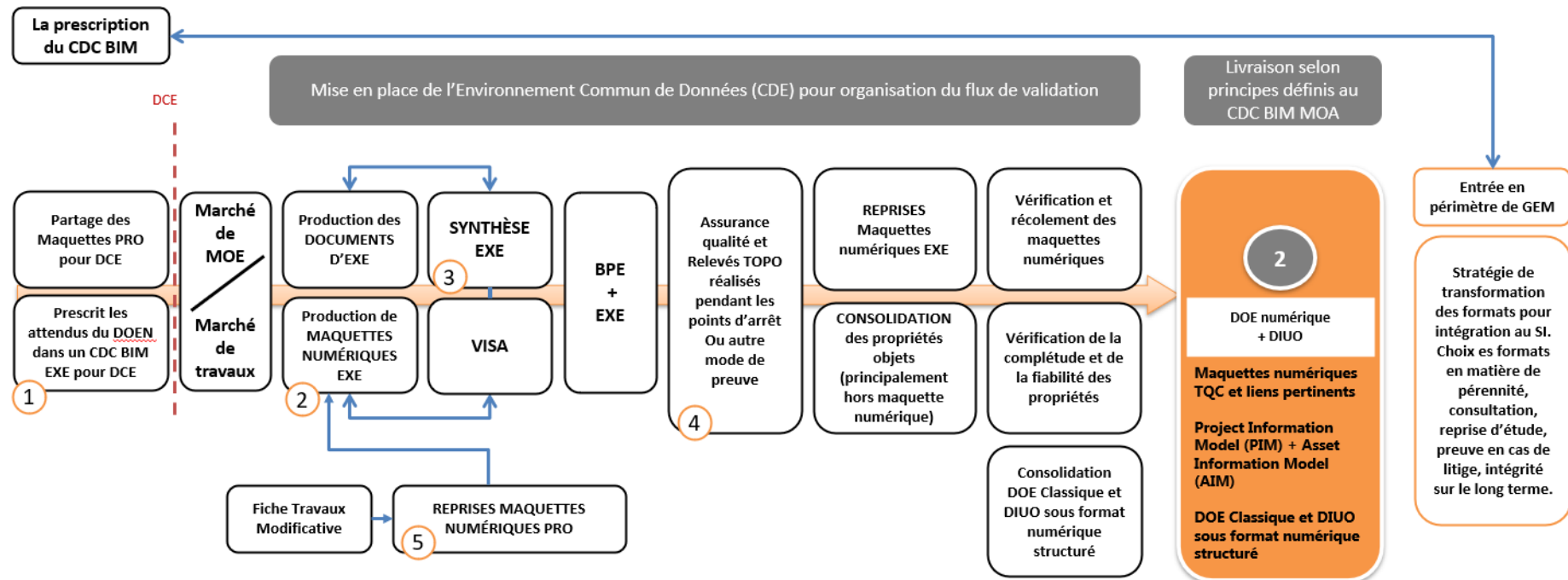
#### ... et les métadonnées de traçabilité

En plus de cette classification des composants d'un ouvrages, et afin d'assurer une traçabilité parfaite, il faut que chaque conteneur d'information exploite des métadonnées incluant :

- un code de révision, conforme à une norme (par exemple la série IEC 82045 :2001 « Gestion de documents ») ;
- un code de statut, comme défini dans la série ISO 19650 « Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) - Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction ».

### 9.3 Partage des rôles et responsabilités dans la constitution du DOEN

(Rappel Fig.42 du Chapitre 5.2)



## 9.4 Liste des systèmes de classification

Système de classification	Zone	Pays	Reference	Descriptif	Domaines couverts
UNICLASS 2015	Europe	UK	ISO 12006	Dernière version du système Uniclass, développée par le National building specification (NBS) qui fait partie de RIBA Enterprises Ltd, détenu par l'Institut royal des architectes britanniques. Première version développée et publiée en 1997 avec pour ambition d'agrèger en un système britannique unique les différents systèmes de classification existants	Les ouvrages Les complexes Les éléments & fonctions Les produits Le management de projet Les espaces & lieux Les systèmes Les outils & équipements Les activités.
CoCLASS	Europe	Suede	ISO 12006-2 ISO/IEC 81346.	Publié fin 2016 Résultat du projet BSAB 2.0 de développement d'un nouveau système de classification adaptée aux nouvelles technologies et notamment au BIM en Suède. Vise à développer un système de structuration des informations d'un modèle BIM	Complexes de construction Ouvrages Espaces Systèmes fonctionnels Systèmes constructifs Composants Lots Propriétés Activités de maintenance
CCS Cuneco classification system	Europe	Danemark	ISO 12006-2 ISO/IEC 81346.	Clarification de la structure de la codification des éléments du système de classification danois DBK, en créant un code tout au long du cycle de vie du bâtiment. La structure du code est l'élément fondamental du nouveau système de classification développé par Cuneco. Il élabore des standards et des outils dans 4 domaines : • classification ; • données patrimoniales ; • niveau d'information ; • règles de mesure.	Parties de bâtiments : Système fonctionnel Système technique Composants Ouvrages Espaces Équipements Machines et outils Systèmes d'équipements Couvre en plus le niveau d'information selon les phases et les propriétés des objets.
CPV Common procurement vocabulary	Europe			Système de classification mis en place au niveau européen, pour les marchés publics de l'Union européenne, obligatoire depuis le 1er février 2006. Vise à standardiser les références utilisées pour décrire l'objet d'un marché par les pouvoirs adjudicateurs et les entités adjudicatrices. Objectifs : faciliter la saisie des appels à la concurrence publiés au Journal officiel de l'UE	Couvre une très large palette de travaux, matériaux et équipements des marchés publics de bâtiment et des travaux publics (grande richesse). À destination des entreprises et de l'administration publique pour la phase d'appel d'offres
STLB-Bau	Europe	Allemagne		Objectif : structurer et faciliter l'élaboration des appels d'offres et contrats entreprises	Structure de manière standard les spécifications d'un projet de construction à travers l'ensemble des prestations liées à un marché. Comme les exigences liées à l'inventaire des bâtiments (BIB) sont respectées, permet d'utiliser les informations en phase de rénovation ou de déconstruction.
Bibliothèque du CRTI-B	Europe	Luxembourg		Contient une collection de textes standardisés, identifiés par une numérotation unique, utilisés pour la description des prestations pour un ouvrage à construire. Permet ainsi l'établissement électronique de descriptifs techniques.	Donne un accès à des textes standardisés, structurés et codifiés, de descriptions d'éléments de construction permettant de simplifier les échanges et une harmonisation des marchés publics, appels d'offres et dossier de consultation.
BB/SfB 1990	Europe	Belgique		Système de codification officiel dédié à la construction en Belgique. S'appuie sur la version de la CI/SfB britannique.	Bâtiment Infrastructure – Transport Espaces verts – Travaux extérieurs Utilisé pour les activités suivantes : Architecture Structure techniques Lots architecturaux Utilisateurs des bâtiments Maintenance, entretien



CFC & eCCC	Europe	Suisse		Série de systèmes de classification pour couvrir l'ensemble du cycle de vie d'un ouvrage développée dès 1996 par le Centre suisse d'études pour la rationalisation de la construction (CRB).	Peuvent être utilisés par tous les acteurs et sur toutes les phases du cycle de vie d'un ouvrage pour la classification et la planification des coûts de tous les éléments de l'ouvrage, et de toutes les prestations du projet.
UNI 8290	Europe	Italie	UNI 8290	Classification basée sur la norme UNI 8290 « Construction résidentielle, Système technologique Classification et terminologie » créée spécifiquement pour l'Italie et toujours utilisée.	Structure portante Enveloppe Division interne Division externe Réseaux Sécurité Équipement interne Équipement externe Principalement destiné à la construction résidentielle
PRONIC	Europe	Portugal	ISO 12006-2	Base de données de classification et de codification des produits de construction créée avec le soutien de l'Association portugaise des commerçants de matériaux de construction (APCMC).	Concerne à la fois la construction et les ouvrages de génie civil et peut être utilisé en phase de programmation, d'appel d'offre, construction et rénovation
NL/SfB	Europe	Pays-Bas		Basé sur le système britannique CI/SfB, NL/SfB et introduit par BNA (Bond van Nederlandse Architecten) aux Pays-Bas en 2005.	Espaces Éléments fonctionnels Méthodes de construction Matériaux de construction Activités, caractéristiques et propriétés
EcoQuaestor	Europe	Pays-Bas	NEN 2699	Définit un système de classification et de codage de l'information pour l'industrie. Détermine les effets environnementaux par rapport aux coûts des projets de construction ; et lie les données de coût aux éléments présent dans la maquette	Utilisé par les économistes de la construction et les bureaux d'études environnementaux
BBW	Europe	Pays-Bas		Système de classification et de codage de l'information pour l'industrie AEC en Belgique appelé BBW (Bouwtechnisch Bestek Woningbouw) défini par la Société flamande de logement social VMSW (Vlaamse Maatschappij voor Sociaal Wonen). S'applique à tous les nouveaux projets de construction et de rénovation de logements sociaux	Se concentre principalement sur les projets de logement social où il est rendu obligatoire conformément à la législation sur les marchés publics. Employée principalement lors de la phase d'élaboration du cahier des charges et d'exécution du projet par les prescripteurs.
FreeClass	Europe	Autriche		Développée depuis 2007 et destinée aux pays de l'Europe Centrale. Propose une classification des matériaux et produits de la construction pour faciliter leur recherche notamment à travers la plateforme euroBAU.com	Génie civil et terrassement Constructions et toitures Isolation et étanchéité Développement intérieur Revêtement de sol, de mur et composants Jardins et extérieurs HVAC Produits chimiques Outils, réparations, préparation de site Logistique, équipements, sous-traitants et autres Energie renouvelables Permet la recherche de produits et matériaux à tous acteurs pour les différentes phases de l'acte de construire
GuBIMclass CA	Europe	Espagne		Objectif : répondre aux besoins du secteur de l'AEC (architecture, ingénierie et construction). Développé à partir de 2014 par le Groupe des utilisateurs BIM de Catalogne (GuBIMCat), et basé sur une classification utilisée par « Infraestructuras.ca » pour en faire un outil utile pour le secteur	Concerne les éléments de construction dans le domaine du bâtiment (les équipements, structures et l'aménagement). Permet de structurer le modèle avec une base connue et partagée pour tous les acteurs de l'acte de construire à toutes les phases et pour tous les corps d'états d'un projet de construction.
OMNICLASS	Etats Unis + Canada		ISO 12006-2 ISO PAS 12006-3	Système OCCS (OmniClass construction classification system) communément appelé OmniClass. Publié en 2006 aux États-Unis par le CSI (Construction specification institute) et au Canada par le CSC (Construction specification Canada). Standard utilisé donc aux États-Unis et au Canada. Objectifs : couvrir l'ensemble du cycle de vie des ouvrages. Faire la synthèse entre les différents systèmes préexistants MasterFormat (2004), UniFormat (1998), Uniclass, EPIC et proposer une alternative universelle, plus adaptée aux nouvelles technologies et nouveaux standards internationaux.	S'adresse à tous les acteurs d'un projet et couvre les domaines suivants : Ouvrages par fonction, par forme Espaces par fonction, par forme Éléments Lots Produits Phases Services Disciplines Rôles organisationnels Outils Informations Matériaux Propriétés

MASTERFORMAT	Amerique du Nord			Classification des résultats d'activités de construction (work results). Développé depuis les années 1960 par le Construction specification institute (CSI) et Construction specification Canada (CSC). Objectif : aider l'utilisateur à organiser des informations en groupes distincts lors de la création de documents contractuels et à rechercher des informations spécifiques dans des endroits cohérents.	Organise les informations en groupes distincts lors de la création de documents contractuels, par exemple le devis directeur national du Canada. Il peut être utilisé par tous les acteurs, à toutes les phases et pour tous les corps d'états d'un projet de construction.
UNIFORMAT II	Etats Unis		ASTM E-1557-09	Développé depuis 1993 par l'American society for testing and material (A.S.T.M.). Instaure un standard de classification des éléments de construction. Permet une description des projets et des ouvrages sans spécifier les choix constructifs, les matériaux utilisés et la décomposition des lots choisis.	Sous-structure Enveloppe Intérieur Services Équipements et fournitures Construction spéciale et démolition Site
UniFormat 2010	Canada		ISO 12006-2	Système de classification des éléments des ouvrages développé par le Construction specification institute (CSI) et Construction specification Canada (CSC). Propose une classification complémentaire à celle de MasterFormat	Infrastructure Enveloppe Intérieurs Services Équipements et fournitures Construction spéciale et démolition Travaux sur le site
ICMS standard	International			Acronyme de International Construction Measurement Standards est un système de classification des coûts. Vise à fournir une cohérence globale pour définir, mesurer, analyser et comparer les coûts de construction d'un projet au niveau régional, national ou international.	L'ICMS décrit les objets « physiques » des ouvrages utilisés pour les études et le contrôle des coûts, pour les économistes de la construction, mais il peut également être utilisé par tous les métiers en rapport avec l'immobilier, la conception, la construction, la maintenance et l'exploitation, à toutes les phases du cycle de vie d'un ouvrage.
IPMS standard	International			Créé par la Coalition internationale pour la normalisation du mesurage des biens immobiliers ou IPMSC (International Property Measurement Standards Coalition) qui vise à harmoniser les standards nationaux de mesure de la propriété (IPMS) par la création et l'adoption de normes internationales convenues pour la mesure des bâtiments.	Etabli pour le calcul des surfaces des ouvrages et élaboré pour les immeubles à destination de bureaux, de logement, industriels et commerciaux. À destination de tous les métiers et à toute les phases d'une opération immobilière, la conception, la construction, la maintenance et l'exploitation.
CBI Coordinated building information	Nouvelle Zelande			Publié par ACBINZ en 1997 à partir du système britannique CAWS, dont la gestion est à présent assurée par MASTERSPEC. Objectif : permettre de disposer de règles de référence pour l'allotissement des marchés de travaux	Généralités Site Structure Enveloppe Intérieur Finitions Services Extérieur
NATSPEC Classification system	Australie	Australie	ISO 12006-2	Développé depuis 1989 par NATSPEC (instance nationale australienne fondée en 1975, composée d'organisations professionnelles et gouvernementales). Initialement conçu pour l'organisation des exigences d'un dossier de consultation et également utilisé pour organiser les produits de construction et les informations techniques tout au long du processus de conception et de construction.	Planning et conception Général Site, urbain espaces Enveloppe Structure Intérieur Finitions Système mécanique Système hydraulique Système électrique Transport Aménagement extérieur Construction des services publics Maintenance et opération des espaces urbains et espaces extérieurs Maintenance et opération des bâtiments Maintenance et opération des aménagements extérieurs Maintenance et opération des ponts Maintenance et opération des services publics. Sachant que catégorise les entités suivantes : Phase de conception Éléments Maintenance/Gestion d'actifs

## 9.5 Présentation globale du processus VISA en BIM

