



Modélisation des INformations INteropérables
pour les INfrastructures Durables

GT5 : Retro-engineering en phases conception, construction et exploitation-maintenance

Incertitude, précision et responsabilités

Auteurs / Organismes

Denis LE ROUX (Setec) [Pilote du GT]
Clément BOUDET (Setec)
Laurence GAUTHIER (Safege)
Benjamin LEHRER (Arkance systems)

Nicolas RASOLDIER (Arcadis)
Coline THOURY (Futur map)
Alexandre VAUTRIN (SBCF Réseau)

Relecteur / Organisme

Vincent COUSIN (Processus & Innovation)

Thème de rattachement : Utilisation des données

MINnDS2_GT5_retro_ingenierie_incertitudes_precisions_responsabilites_034_2023
LC/21/MINNDS2/102-103-107-108-109-041-042-043-045-047 & LC/22/MINNDS2/202-203-212
Mai 2023

Site internet : www.minnd.fr

Président : François ROBIDA Chefs de Projet : Pierre BENNING / Vincent KELLER
Gestion administrative et financière : IREX (www.irex.asso.fr), 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

1. RÉSUMÉ / ABSTRACT	2
2. INTRODUCTION	3
2.1 La rétro-ingénierie en quelques mots	3
2.2 Lien avec les autres GT de MINnD.....	5
3. CARACTÉRISATION DES INFORMATIONS ENTRANTES.....	6
3.1 Propriétés d'une information.....	6
3.2 Origine des données	7
3.3 Niveau de développement	8
3.4 Date de production.....	12
3.5 Exemples dans le contexte Ouvrage d'Art / Chaussée	12
4. QUALIFICATION DES INCERTITUDES.....	14
4.1 Définition retenue.....	14
4.2 Les incertitudes liées aux informations.....	15
4.3 La retranscription de l'incertitude	20
4.4 Exemples dans le contexte Ouvrage d'Art / Chaussée	21
5. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ ET DE L'ADÉQUATION DES INFORMATIONS D'ENTRÉE	23
5.1 Les objectifs du contrôle	23
5.2 Évaluation des informations entrantes.....	24
5.3 Analyses des incertitudes	24
5.4 Adéquation au besoin	26
5.5 Matrice d'analyse des informations	26
6. INTÉGRATION DE LA CHAÎNE DE RESPONSABILITÉS.....	28
6.1 En quoi consiste l'intégration de la chaîne ?	28
6.2 Bilan et évolutions juridiques depuis la Saison 1 et liens avec les autres travaux de la Saison 2	30
6.3 Questionnements et présentation simplifiée de la chaîne des responsabilités.....	35
6.4 Analyse et pistes pour le traitement des limites de responsabilités dans les documents cadres.....	38
7. RÉFÉRENCES	41
8. TABLE DES MATIÈRES	43
9. SOMMAIRE DES ILLUSTRATIONS	46
10. ANNEXES.....	47
10.1 Matrice d'analyse des informations	47
10.2 Représentation des étapes de définitions des responsabilités	48

I. RÉSUMÉ / ABSTRACT

Résumé

Le processus de rétro-ingénierie implique le traitement d'une importante quantité d'information. Ces informations d'origines, de précision et de temporalités diverses nécessitent d'être qualifiées. Au-delà de la qualification de l'information entrante, il est nécessaire d'évaluer les incertitudes. Plusieurs facteurs d'incertitude sont à évaluer, ceux liés à l'information d'entrée et ceux liés au processus de traitement de l'information. Enfin, il conviendra d'évaluer l'adéquation entre les exigences formulées en début de processus (exigences contrat) et les possibilités réelles compte-tenu de la qualité des informations entrantes. Un jeu d'information trop « faible » peut en effet conduire à de nouvelles campagnes de collecte d'informations ou une dégradation des exigences formulées sur les livrables.

Enfin, le processus de rétro-ingénierie implique un grand nombre d'acteurs : Maître d'Ouvrage, fournisseurs d'information, prestataires de collecte d'information, partie désignée pour réaliser la rétro-ingénierie. Une chaîne de responsabilité est donc créée. Une vigilance particulière est recommandée dans la formulation des documents contractuels.

Abstract

The reverse engineering process involves the processing of a large amount of information. This information of various origins, precision and temporality needs to be qualified. Beyond the qualification of the incoming information, it is necessary to assess the uncertainties. Several uncertainty factors need to be assessed, those related to the input information and those related to the information processing process. Finally, it will be necessary to assess the adequacy between the requirements formulated at the start of the process (contract requirements) and the real possibilities considering the quality of the incoming information. A set of information that is too "weak" can indeed lead to new information collection campaigns or a degradation of the requirements formulated on the deliverables.

Finally, the reverse engineering process involves a large number of actors: Project Owner, information providers, information collection service providers, party designated to carry out the reverse engineering. A chain of responsibility is therefore created. Particular vigilance is recommended in the formulation of contractual documents.

Abréviations

Cf. Glossaire MINnD

Mots clés principaux (Fra)

MINnD ; Recherche ; Construction ; Infrastructures ; BIM ; Maquette numérique ;

Mots clés spécifiques au livrable (Fra)

rétro-ingénierie, obsolescence, origine information, qualification information, incertitudes, adéquation besoin, matrice analyse, chaîne responsabilité.

Main key words (Eng)

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

Deliverable key words (Eng)

2. INTRODUCTION

Repartir de l'usage

Le processus de rétro-ingénierie débute par l'expression du besoin, puis par l'acquisition d'informations qui peuvent être issues de diverses sources telles que des bases de données, des plans, des schémas ou de nouvelles acquisitions. Ces informations sont qualifiées par différents critères (niveaux de précision, de détail, de temporalité...).

Il est donc nécessaire de faire le tri de l'ensemble des informations afin de pouvoir atteindre les usages fixés par le processus de rétro-ingénierie et de vérifier leur adéquation aux besoins exprimés.

L'ensemble de ces étapes feront appel à différents acteurs qui engageront leurs responsabilités dans la production ou dans la modification de ces informations. Ce document a pour but d'aider les acteurs dans toute cette démarche de rétro-ingénierie.

Accès à l'information

Dans certains cas, il arrive que l'information documentaire soit inexistante. Il sera alors indispensable de réaliser des relevés sur site (levés topographiques et investigations complémentaires).

Accès à l'ouvrage

À ce manque d'informations existantes s'ajoute la contrainte de l'accessibilité à l'ensemble des zones souhaitées. Par exemple, l'extrados d'un ouvrage enterré ne peut être relevé que sur site avec sondages. Bien souvent, ces contraintes ne peuvent se réduire au simple accord du concessionnaire concerné.

Hétérogénéité des informations des modèles

Pour un même ouvrage, il n'est pas toujours possible d'obtenir une finesse d'information homogène. Dans ce cas, une prise d'hypothèses est réalisée. L'intégration des différentes informations peut intervenir tout au long du cycle de vie d'un ouvrage. Ainsi, les modèles évolueront en plusieurs versions. Le contenu de celles-ci devra permettre à l'utilisateur de qualifier le niveau d'information de chaque partie de l'ouvrage.

2.1 La rétro-ingénierie en quelques mots

Rappel de la définition de la rétro-ingénierie

La retro-engineering est avant tout une modélisation tridimensionnelle ou calculatoire d'un environnement et d'un ouvrage existant. Cela permet de déterminer la position de l'ouvrage, sa géométrie, son état, et les contraintes qu'il subit ou qu'il impose à son environnement de travail. Le but étant de venir modifier ledit ouvrage, le restaurer, travailler à proximité, de s'y raccorder ou de l'exploiter.

Une temporalité d'accès à l'information discontinue, différente de la temporalité de la production BIM d'un projet nouveau

Dans le cas d'un ouvrage d'art sans aucune information documentaire, il est facile de déterminer la position des piles à partir de levés réalisés sur le terrain. Toutefois, leur profondeur et l'état des fondations nécessite des fouilles. Ces fouilles arriveront ultérieurement car leur réalisation nécessite la déviation de l'infrastructure franchie. En attendant ces investigations complémentaires, une première version du modèle pourra être produit à partir des relevés disponibles.

Processus de rétro-ingénierie

Dans le schéma ci-dessous, nous décrivons le processus de rétro-ingénierie élaboré par notre groupe de travail.

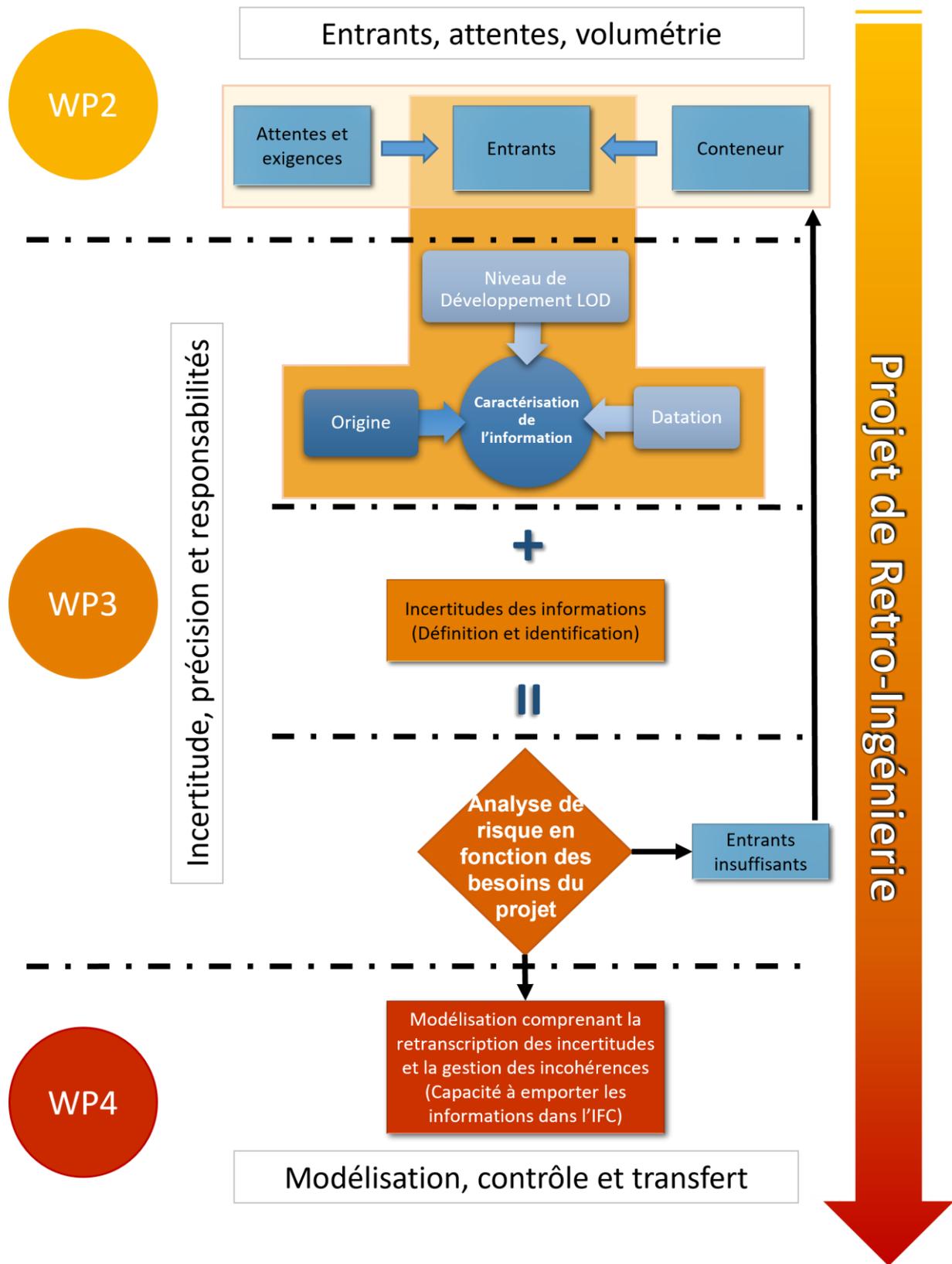


Fig 1. Processus de rétro-ingénierie

**Graphique support pour
compréhension du
processus de rétro-
ingénierie**

Le graphique présenté ci-avant retrace les étapes nécessaires de la rétro-ingénierie. Les différents livrables de notre groupe de travail regroupent les points de passage nécessaires :

- WP2 : définition des exigences et collecte des informations ;
- WP3 : caractérisation des informations entrantes, analyse de l'adéquation au besoin ;
- WP4 (livrable encore incertain) : modélisation, contrôle et transfert.

2.2 Lien avec les autres GT de MINnD

**Incertitudes et
tolérances traitées
dans le GT2.2, GT avec
le plus d'interfaces**

**GT 3.1 et GT 3.2&3.3 –
Obsolescence et fiabilité
de l'information**

**Liens sur les
responsabilités**

**Modélisation des objets,
liens avec tous les GT1.**

Le groupe de travail GT2.2 a réalisé un travail sur les incertitudes et les tolérances qui est consigné dans deux livrables. Ces documents sont consacrés à l'inventaire de l'ensemble des définitions des principes liés à la gestion des incertitudes dans un projet d'infrastructure (« Incertitudes et Tolérances : Enjeux et Définitions »¹) et leur représentation dans des modèles (« Incertitudes et Tolérances : Qualification et Recommandations »²).

Dans les deux groupes de travail GT 3.1 - Intégration progressive du PLM et GT 3.2&3.3 - Jumeau Numérique, le processus décrit dans le GT5 peut servir à alimenter les modèles décrits par ces deux GT.

Pour notre GT ainsi que pour les deux autres, la qualité et la fiabilité de l'information est un critère important. Notre section dédiée à l'obsolescence de l'information sera à même d'aider le lecteur des travaux de ces GT.

Les liens sur les aspects juridiques sont également présents avec les GT1.7 – Archivage, responsabilité du fournisseur de données et GT2.1-Modalités de réception.

La sémantique ainsi que la topologie de modélisation des objets BIM doivent s'appuyer sur les modèles décrits dans les IFC. Ce modèle de donnée a très largement été alimenté par les travaux de ces GT1.

¹ Pierre Benning, Christian Donzel, Xavier Godart, Bertrand Le Bris, Christelle Loiselet, Emmanuel Natchitz, Jean-François Page, Michel Rives, Claude Rospars, Eric Tournez et Marc Villié, *MINnDs2_GT2.2_incertitudes_tolerances_enjeux_definitions_024_2022*

² Pierre Benning, Christian Donzel, Xavier Godart, Bertrand Le Bris, Christelle Loiselet, Emmanuel Natchitz, Jean-François Page, Michel Rives, Claude Rospars, Eric Tournez et Marc Villié, *MINnDs2_GT2.2_incertitudes_tolerances_qualification_recommandations_025_2022*

3. CARACTÉRISATION DES INFORMATIONS ENTRANTES

3.1 Propriétés d'une information

Caractérisation d'informations

Objectif / Schéma directeur

Contenu / Définition

La caractérisation des informations est nécessaire pour constituer un dossier de référence permettant d'inventorier objectivement l'ensemble des informations disponibles.

La constitution du dossier de référence est une étape indispensable en rétro-ingénierie tant pour une approche de conception que de maintenance et exploitation.

La caractérisation des informations au sens du processus de rétro-ingénierie, est définie par plusieurs critères, qui sont :

L'origine §3.2	Il s'agit de connaître la provenance des informations : GMAO, plans d'exécution, plans DOE, SIG, topographie...
Le niveau de développement §3.3	Cette information est définie selon un niveau de développement lié à des informations spatiales, sémantiques et documentaires.
La date §3.4	Cette notion traduit le phénomène par lequel les informations perdent de leur fiabilité et donc de leur valeur d'usage en fonction du caractère plus ou moins récent de l'acquisition ou de la mise à jour.

Ces critères de caractérisation de l'information correspondent à la première étape du workflow du WP3, présenté dans le schéma ci-après.

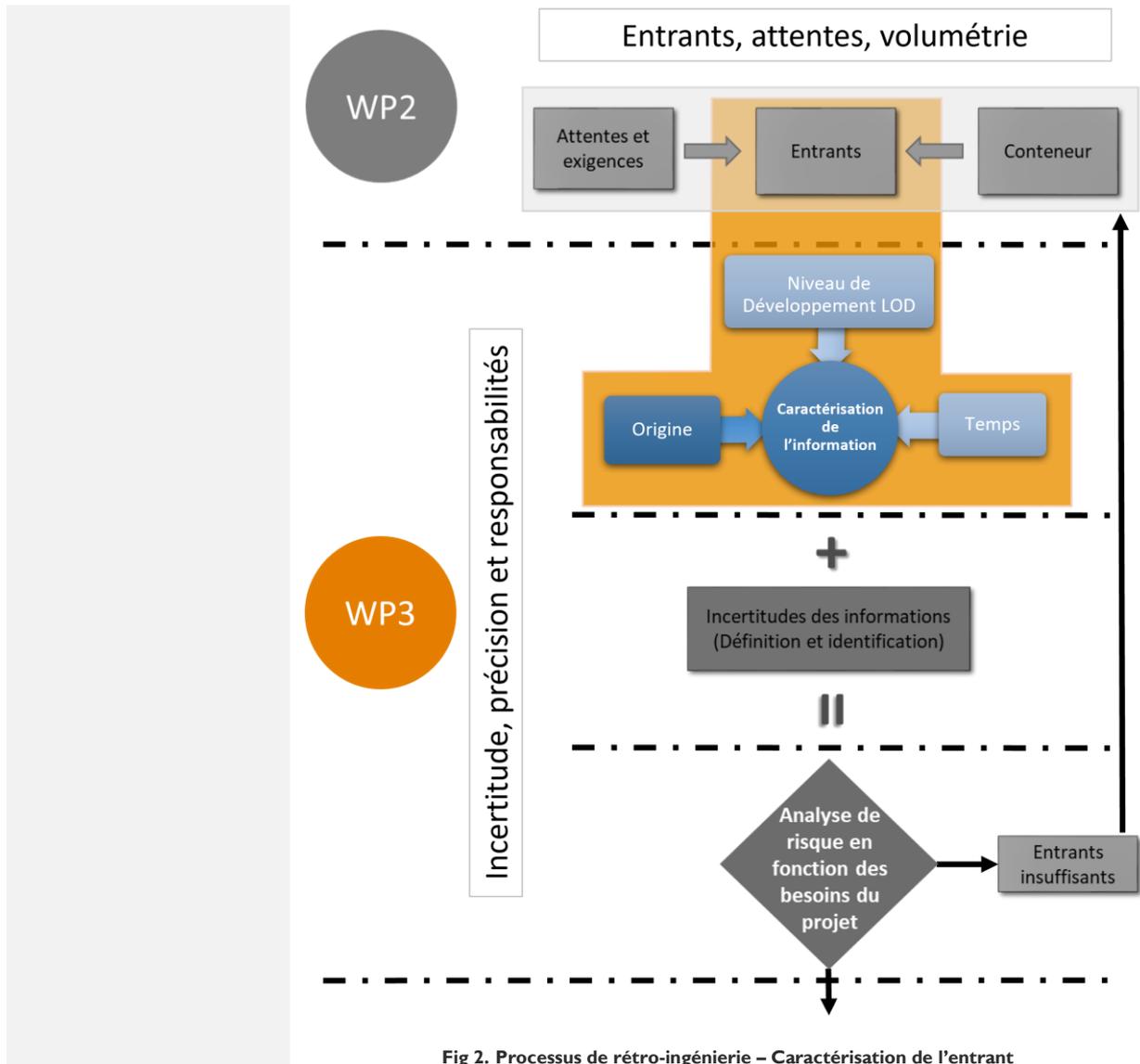


Fig 2. Processus de rétro-ingénierie – Caractérisation de l'entrant

3.2 Origine des données

Origine de l'information

L'information d'entrée d'un projet de rétro-ingénierie peut revêtir plusieurs formats et être issue de plusieurs sources. Comme présenté dans le livrable 2 de notre groupe de travail³, des métadonnées peuvent y être attachées. Ces éléments permettent en partie de déterminer le niveau de fiabilité de l'information finale.

³ William Bayol, Clément Boudet, Johann Cadren, Emmanuel Devys, Laurence Gautier, Denis Le Roux, Benjamin Lehrer, Nicolas Rasoldier, Coline Thoury, Alexandre Vautrin et Layella Ziyani, *MINnDS2_GT5_retro_ingenierie_donnees_entree_attentes_volumetrie_030_2023*

Tableau des types d'informations

Données brutes	Plans	Relevé géométriques et listes objets	Base de données GEM (Historique des équipements, Fiches produits)
Nuage consolidé	SIG 2D	SIG 3D Maquettes	Lien documentation et bibliothèques
Nuage colorisé	Nuage classifié \Instanciées	Modèle 3D	Modèles 3D liés à des bibliothèques
Photo maillage	Photo-maillage classifié	Photo-maillage instancié	Asset Information Model (AIM)

Fig 3. Illustration des différentes sources d'information – Source : Egis

Plus de détails sur les sources possibles

Les sources possibles sont listées de façon plus détaillée dans les deux premiers livrables de notre groupe de travail.

3.3 Niveau de développement

Niveau de développement

NF EN 17412-1, un cadre pour la formalisation du besoin

Les niveaux de développement sont fondamentaux dans un projet de rétro-ingénierie. Ils sont des atouts stratégiques pour répondre aux cas d'usage du projet de rétro-ingénierie.

Le niveau de développement est un des indicateurs utilisés pour mesurer la qualité de l'information.

Lorsque l'on parle de niveau de développement, on parle de l'état de développement d'un modèle donné. La norme NF EN 17412-1⁴ ajoute la notion de définition du besoin pour un usage donné.

La notion de LOD (Level Of Développement) évolue alors vers la notion de LOIN : Level of Information Need.

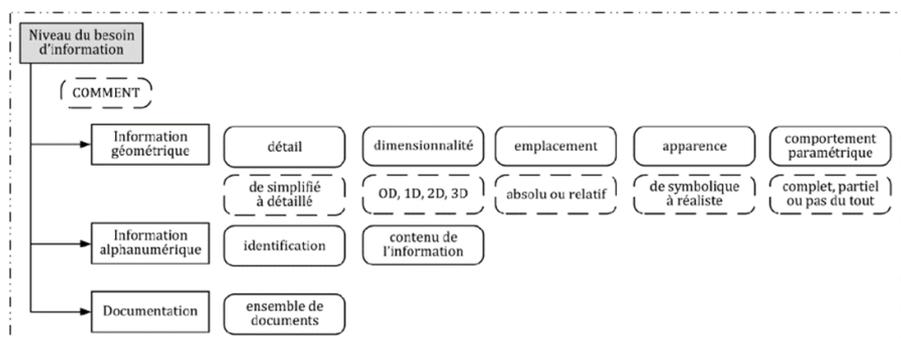


Fig 4. Extrait de la norme 17412-1 – niveau du besoin d'information

⁴ NF EN 17412-1, Modélisation des informations de la construction - Niveau du besoin d'information - Partie 1 : concepts et principes, Collections AFNOR, 2020.

<p>Vigilance contractuelle</p>
<p>Convention BIM, document clé</p>
<p>Contenu / Définition</p>
<p>Niveaux de représentation</p>

Le principe est d'établir une liste de critères qui permet de définir les entrants du projet de rétro-ingénierie. Pour cela la nature de ces entrants en termes de géométrie, de propriétés, de documentation, de complétude sont exploités.

L'utilisation de LOD tels que définis par l'association BIM Forum⁵ ne peut être considérée comme contractuelle. Il est donc très important dans tout contrat de clairement expliciter le niveau de définition géométrique, attributaire et paramétrique attendu à travers le formalisme de la norme NF EN 17412-1 dans les documents de marché.

Il est primordial que la convention BIM ou, suivant la phase, le cahier des charges du projet présente les attentes sur le ou les niveau(x) de définition. L'évolution des niveaux d'informations requis sont également repérés dans le temps à travers différents jalons.

Le niveau de développement de la maquette numérique est le résultat de l'analyse des données d'entrée et d'une configuration, qui évoluera en fonction des phases du projet et du cycle de vie de l'infrastructure.

Ces niveaux sont définis ci-après.

Pour traiter les niveaux de développement et l'éventuelle complexité des projets, ils se définissent par jalons et doivent définir à minima pour chaque classe d'objet :

- Le niveau de représentation – NdR ;
- Le niveau d'information – NdI ;
- Le niveau de documentation – Ndoc ;
- Le niveau de complétude – NdC ;
- Le niveau de coordination –Ncoo.

Niveau de Représentation Graphique (NdR)

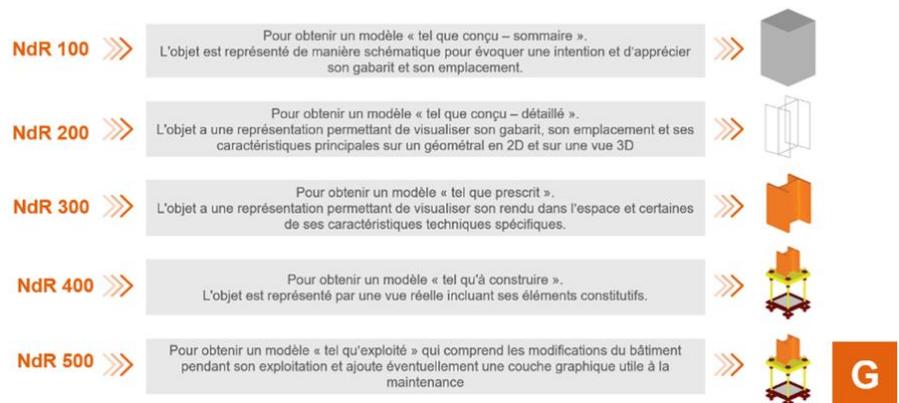


Fig 5. Niveaux de représentation – Source Arcadis

⁵ BIM Forum, *Level of Development Specification*, <https://bimforum.net/LOD>, consulté le 16 mai 2023.

Niveaux d'information

Niveaux d'Information (Ndl)



Fig 6. Niveaux d'information– Source Arcadis

Niveaux de documentation

Niveaux de Documentation (NDoc)

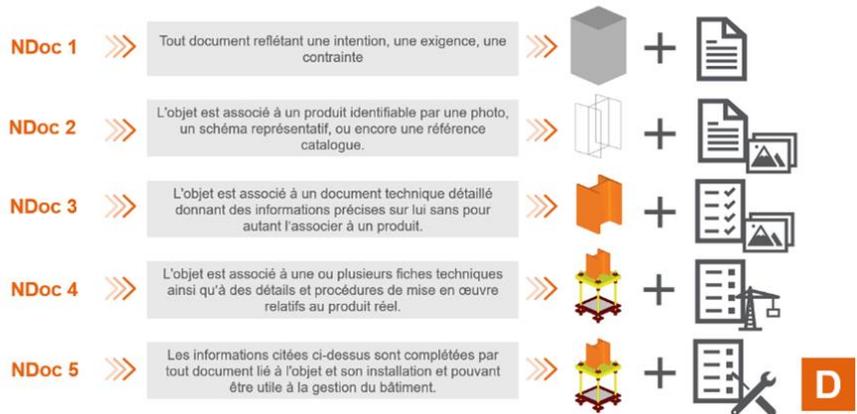


Fig 7. Niveaux de documentation– Source Arcadis

Niveaux de complétude

Le niveau de complétude exprime l'exhaustivité de la maquette numérique selon les niveaux de représentation, d'information, de coordination et de documentation des objets constitutifs de l'ouvrage.

La maquette numérique peut donc avoir des niveaux de complétude différents :

- Selon la composition des maquettes métier ;
- Selon le périmètre de l'étude ;
- Selon la phase du projet dans le cycle de vie de l'ouvrage.

Le niveau de complétude de la maquette numérique pour la consultation des entreprises doit être défini et décrit avec un maximum de détails.

Niveaux de coordination

Le niveau de coordination exprime le niveau de résolution des interférences spatiales, techniques et réglementaires.

Nous n'avons pas connaissance à ce jour de standard de notation pour les niveaux de coordination. Cette coordination peut être une coordination spatiale, temporelle, d'activités, etc.

Nous proposons la notation par lettre (A, B, C, D, E) :

- A : Modèle coordonné avec les toutes disciplines du projet, sur la base de modèles dont le niveau de définition garantie la fiabilité de la coordination ;
- B : Modèle coordonné avec les toutes disciplines du projet. Les modèles utilisés sont des modèles en cours de fiabilisation ;

- C : Modèle coordonné avec les autres modèles de la discipline. Le niveau de définition des modèles garanti la fiabilité de la coordination ;
- D : Modèle coordonné avec les autres modèles de la discipline. Les modèles utilisés sont en cours de fiabilisation ;
- E : pas de coordination.

Ces notations peuvent être enrichies de dimensions supplémentaires comme évoqué ci-avant. Ainsi en considérant une lettre pour la coordination géométrique et spatiale, une pour la coordination temporelle/ phasage et une dernière pour une coordination d'activité, la notation de la coordination sera représentée par trois lettres.

Exemple :

- Un modèle noté ACE aura été fait l'objet d'une coordination spatiale, d'une coordination de phase dans le domaine du modèle, mais n'aura pas fait l'objet de coordination d'activité de construction ;
- Un modèle DEE aura fait l'objet d'une simple coordination interne à la discipline dans un niveau de développement faible. Il sera donc à utiliser avec la vigilance qui s'impose ;
- Un modèle non géoréférencé ne pourra pas avoir une note supérieure à Cxx car il n'aura pas pu être confronté au territoire dans lequel il s'inscrit.

Niveau d'information versus niveau d'intelligibilité

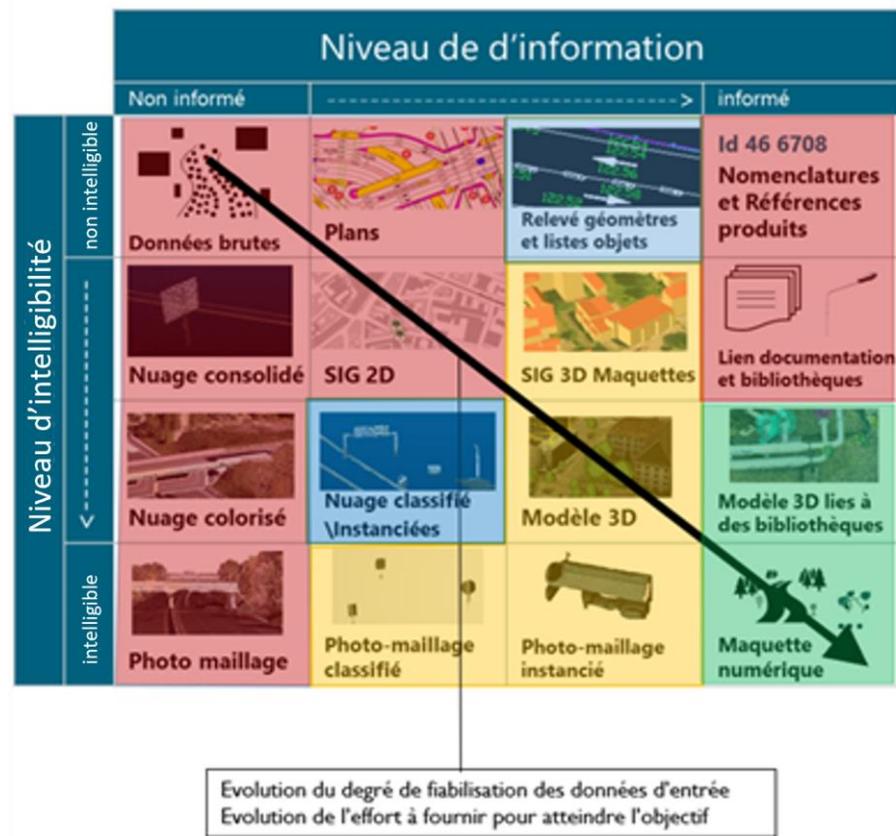


Fig 8. Évolution du degré de fiabilisation en fonction de l'information et du niveau de détail – source : Egis

ZONE ROUGE : L'information d'entrée seule ne constitue pas une information suffisante pour réaliser une rétro-ingénierie de l'ouvrage. Celle-ci devra être couplée à d'autres informations d'entrée pour obtenir une rétro-ingénierie de qualité. (NOTA : Intégrer la notion de niveaux de définition minimale pour parler de rétro-ingénierie)

ZONE BLEUE : L'information peut suffire pour obtenir une rétro-ingénierie avec un niveau minimaliste de définition. Le degré de suffisance sera directement lié à la définition du relevé et du post-traitement demandé au géomètre.

ZONE JAUNE : L'information permet de réaliser un modèle de rétro-ingénierie enrichi.

ZONE VERTE : L'information est d'ores et déjà modélisée et ne nécessite à priori pas d'opération de rétro-ingénierie.

3.4 Date de production

Temporalité de l'information, une notion indispensable

De l'ancienneté des informations

Lors de la constitution du dossier des informations entrantes, la connaissance de la temporalité de celles-ci est essentielle. Par cette notion, c'est le degré de fiabilité des informations selon leurs dates d'établissement ou, quand plusieurs informations sont disponibles pour le même ouvrage, selon leurs chronologies.

Cette notion est intuitive, toutefois, dater les informations n'est pas toujours évident. À défaut de date, l'important est de positionner celle-ci sur une période et à minima par rapport aux informations la précédant et lui succédant.

Plus la date de la production des informations est ancienne, plus leur traitement nécessite de la prudence. En effet, l'environnement peut avoir évolué depuis ou les informations peuvent être obsolètes (cf. §4.2).

À contrario, ces informations anciennes peuvent aussi représenter une source de données fiables et extrêmement précises.

Du phasage des projets ayant conduit à la production des informations

Outre la date, il est fondamental de définir dans quel contexte l'information a été produite. L'exigence de précision et l'éventail des informations varient selon la phase de la production : stade programmatif, diagnostic en début ou en fin de conception, études d'exécution, à réception de l'ouvrage, ou pendant l'exploitation.

3.5 Exemples dans le contexte Ouvrage d'Art / Chaussée

Modélisation à partir de documents techniques

L'illustration suivante explicite le fait que la modélisation d'un ouvrage d'art est réalisée uniquement à partir de plans techniques de cet ouvrage produits lors de la phase de construction. Le processus ici représenté aura permis de générer une nomenclature des objets de l'ouvrage.

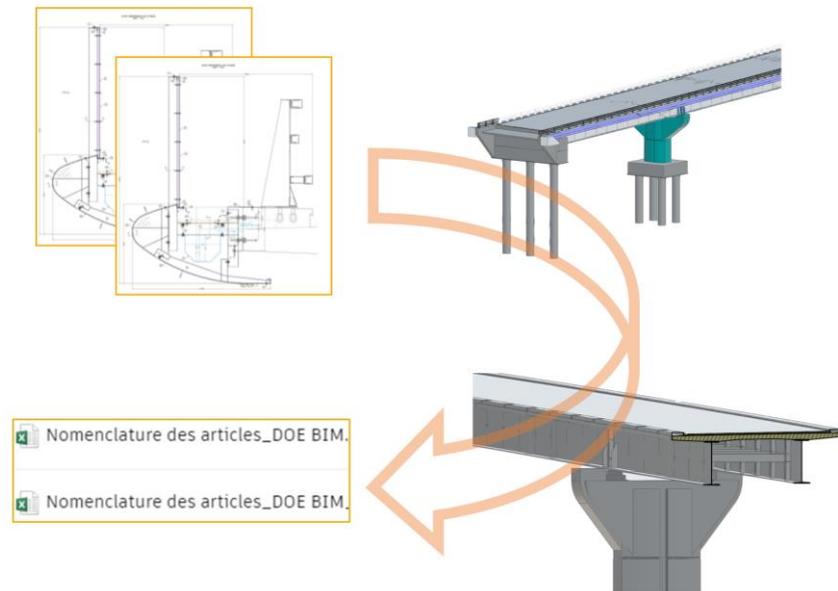


Fig 9. Viaduc autoroutier – source : Arcadis

Contexte de modélisation à partir de nuages de points et confrontation avec le réel.

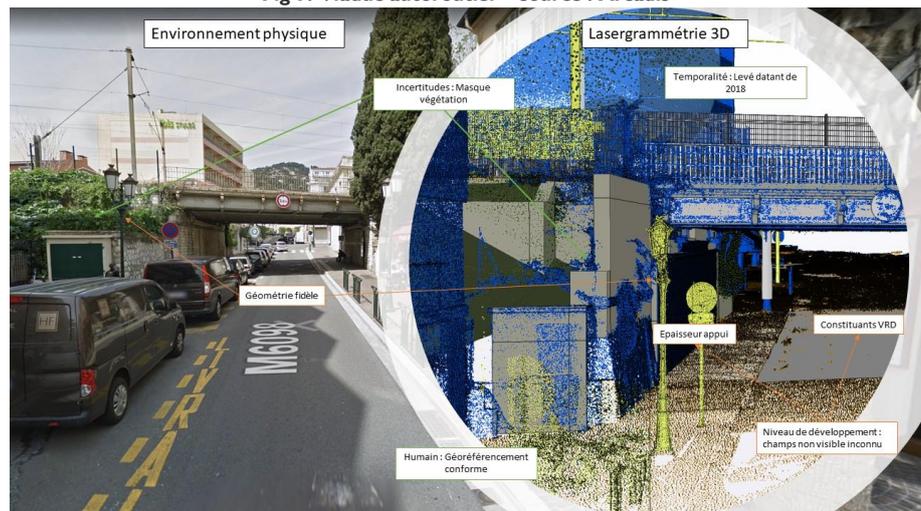


Fig 10. Illustration d'incertitudes liées au mode de modélisation et à la source d'information – Pont Rail de la gare de Beaulieu-sur-Mer ayant fait l'objet d'un processus de rétro-ingénierie

Par cet exemple, nous pouvons caractériser l'information entrante qui est définie par :

- Son origine :
 - Le contexte réel et visible a été numérisé par une technologie basée sur de la lasergrammétrie ;
- Son niveau de développement :
 - Cette information entrante apporte une très grande exhaustivité du système réel, elle reste toutefois incomplète sur toutes les informations non visible ou encore indétectable par la technologie (ex : matériaux) ;
- Sa temporalité :
 - Information acquise en septembre 2018.

4. QUALIFICATION DES INCERTITUDES

4.1 Définition retenue

QUALIFICATION DES INCERTITUDES

Objectif / Schéma directeur

Contenu / Définition

L'incertitude est le fait de ne pas être sûr de la qualité d'une information. Cette incertitude peut être intrinsèquement liée aux différentes sources d'information.

Les caractéristiques des informations entrantes définies au précédent chapitre ne sont pas suffisantes pour qualifier l'information en rétro-ingénierie. Il est également nécessaire de qualifier les incertitudes liées à ces informations afin d'en avoir une vision globale.

Dans la qualification des incertitudes, nous allons donc définir les éléments suivants :

- Incertitudes liées aux informations ;
- Mesure de l'incertitude ;
- Retranscription de l'incertitude ;
- Continuité numérique.

La définition de ces éléments vient s'inscrire dans une étape intermédiaire au workflow du WP3, présenté dans le schéma ci-après.

Cette étape est spécifique à la rétro-ingénierie, elle nécessite pour cela d'être bien réfléchi en amont du projet.

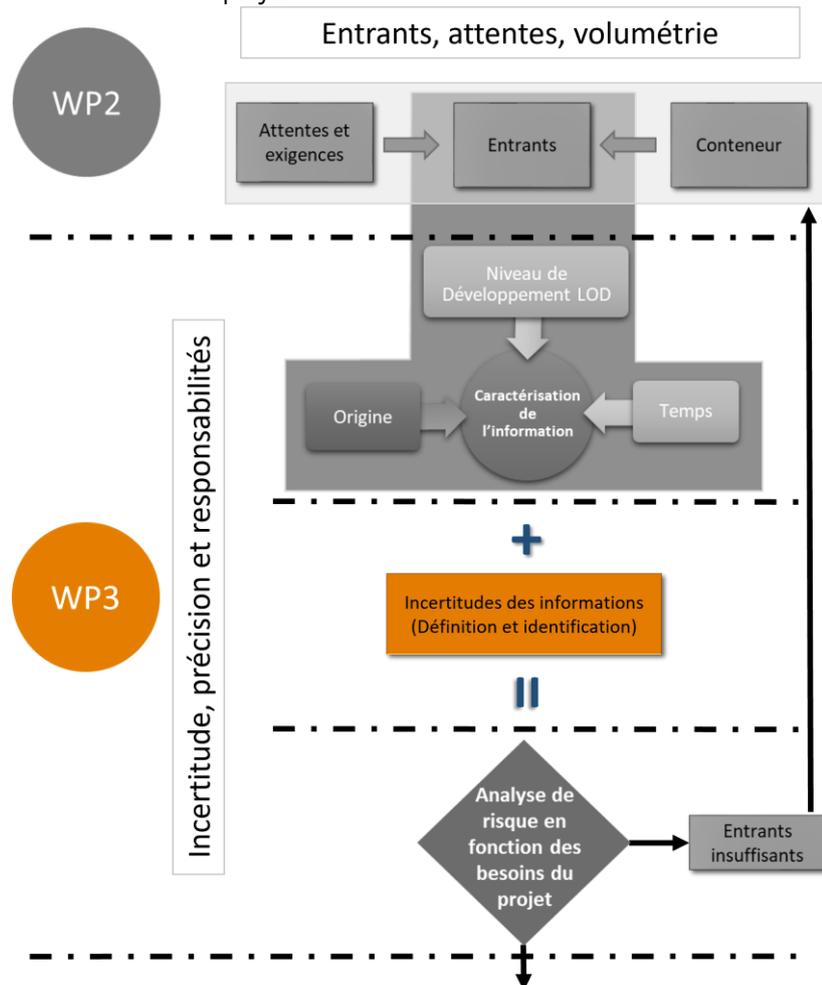


Fig 11. Position de l'étape d'évaluation des incertitudes de l'information

4.2 Les incertitudes liées aux informations

Dé-risquer le produit final

Le contexte du projet, pour mieux identifier les facteurs d'incertitude

Des facteurs d'incertitude multiples au cours du processus de rétro-ingénierie

L'objectif est de qualifier les niveaux d'incertitude de l'ensemble des informations de la maquette numérique.

L'enjeu est d'en mesurer les impacts et de les intégrer dans le cadre de la mission de rétro-ingénierie.

La définition du contexte est un élément important dans la phase d'évaluation de l'incertitude.

Il peut s'agir de l'origine du projet, des informations sur le contexte réglementaire et/ou économique, ou encore de l'environnement de l'ouvrage.

Dans le cadre des incertitudes liées aux informations, le contexte englobe l'ensemble des différents facteurs d'incertitude.

En rétro-ingénierie, les principales incertitudes que nous avons identifiées proviennent des facteurs suivants :

- L'humain ;
- La méthodologie (voir pour ajouter technologie avec méthodes) ;
- L'obsolescence (étudier la différence avec la temporalité sur le niveau d'informations).

Ces différents facteurs, détaillés dans les sections suivantes sont représentés dans le schéma ci-dessous.

La lecture du schéma est la suivante : dans le contexte du projet, la limitation du risque (on se rapproche du centre) de chaque facteur induit une diminution du niveau d'incertitude dans le processus de rétro-ingénierie.

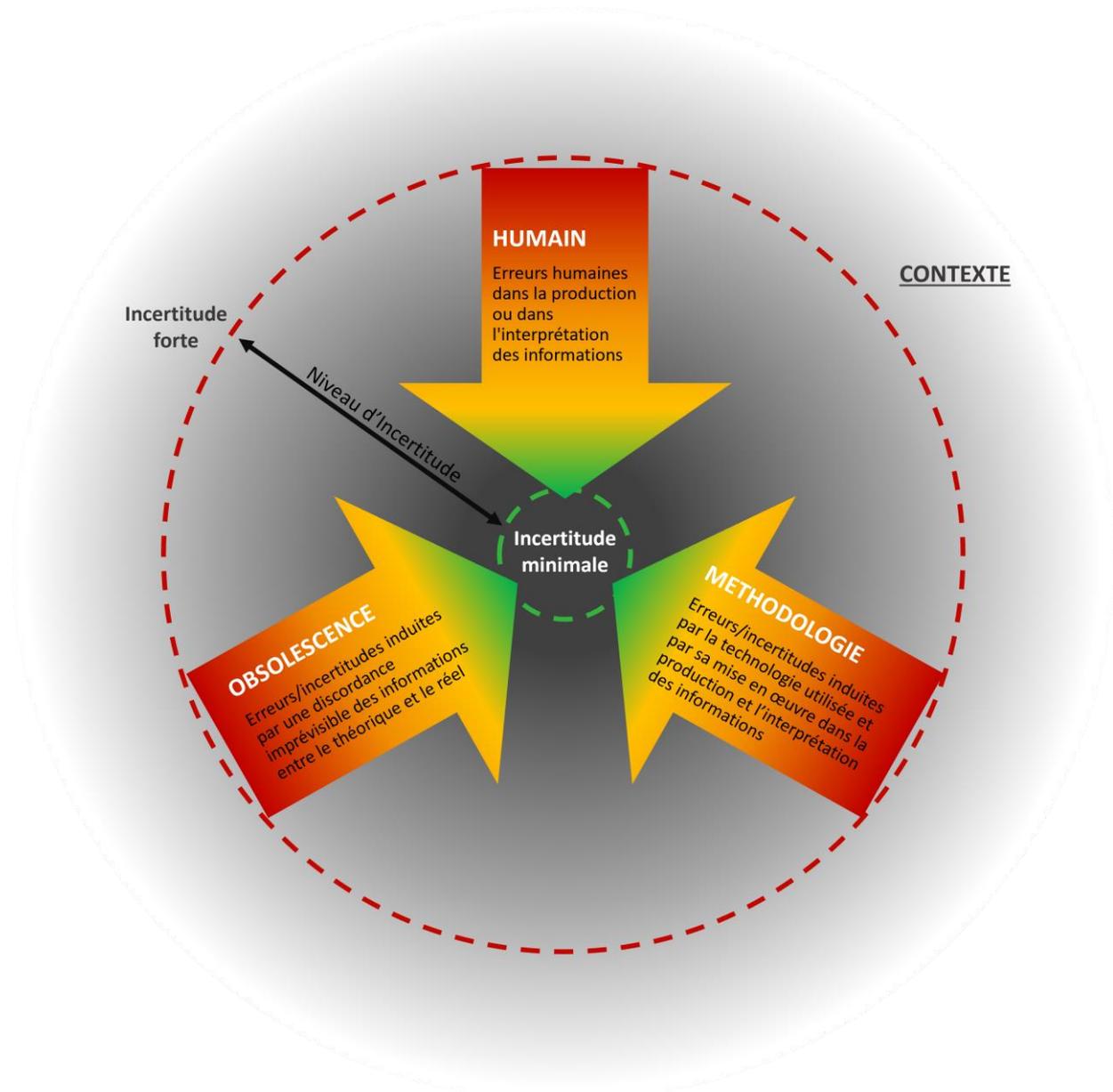


Fig 12. Niveaux d'incertitude et facteurs agissant sur ce niveau. Chaque facteur permet d'agir pour converger vers la cible, au centre.

La maîtrise absolue de l'incertitude : une illusion

Comme nous allons le voir par la suite, il est impossible d'obtenir une information dépourvue d'incertitude.

En partant de ce constat, nous définissons l'incertitude optimale comme étant l'approximation la plus proche possible de l'information réelle en fonction de la méthodologie utilisée.

Dans le cas de la rétro-ingénierie, l'incertitude ne se limite pas aux erreurs de mesure (cf. GT2.2 Gestion des incertitudes et tolérances⁶), elle est également considérée sur toutes les informations nécessaires au processus de modélisation.

⁶ William Bayol, Clément Boudet, Johann Cadren, Emmanuel Devys, Laurence Gautier, Denis Le Roux, Benjamin Lehrer, Nicolas Rasoldier, Coline Thoury, Alexandre Vautrin et Layella Ziyani, *GT5 Rétro-ingénierie - Données d'entrée, attentes, volumétrie, op. cit.*

L'humain, un facteur d'incertitude

L'humain n'est pas parfait et a ses propres failles. Par conséquent, de nombreuses incertitudes peuvent être générées de façon involontaire.

Ces différentes incertitudes sont principalement liées à un manque de compétences techniques, à un manque d'expérience, à un état de fatigue, de l'inattention, ou à une mauvaise technologie utilisée dans la phase de modélisation.

- Manque de compétences / d'expérience. Exemples :
 - Mauvaise interprétation / lecture des informations sources ;
 - Défauts de modélisation.

Le manque de compétences est sans doute la principale cause d'incertitude du facteur humain. Elle peut entraîner des répercussions conséquentes sur le projet. Elle est plutôt de type systématique : une personne va mal modéliser tout un ouvrage. Si le défaut est constaté, il est alors assez simple d'identifier les parties du processus de rétro-ingénierie impacté.

Le professionnel missionné se doit d'être compétent dans sa mission de modélisation, aux risques dans le cas contraire, de ne pas être conforme aux exigences de l'opération. La norme NF EN ISO 19650-1⁷ impose d'ailleurs de s'assurer des compétences des personnes intervenant dans les missions BIM.

- Erreur d'inattention / Manque de vigilance, exemples :
 - Erreur de saisie ;
 - Utilisation d'une information source ;
 - Erreur de référentiel.

Une fatigue intellectuelle peut avoir un impact sur la vigilance et ainsi engendrer des erreurs d'inattention. Les tâches monotones, un environnement de travail inapproprié ou des facteurs extérieurs aux missions professionnelles peuvent aussi induire une moins bonne qualité de la production.

Ces erreurs sont dispersées dans la modélisation. Leur identification en est d'autant plus difficile. Il convient de limiter au maximum le travail de ressaisie qui est contre-productif. S'il ne peut être contourné, les valeurs issues des ressaisies doivent autant que possible être contrôlées à l'aide d'algorithmes (vérification du formatage, des écarts statistiques, etc.).

La mise en place de contrôles croisés est nécessaire tout au long de la mission pour vérifier la cohérence et la qualité du travail réalisé.

- Choix de l'outil (matériel / logiciel), exemples :
 - Outil non adapté au domaine ;
 - Station de travail mal dimensionnée ;
 - Outil de modélisation impliquant de nombreuses manipulations.

Ici, le professionnel utilise en général les outils avec lesquels il a l'habitude de travailler. Avant de commencer un processus de rétro-modélisation, une veille technologique s'impose. Cela est d'autant plus pertinent lorsque le professionnel réalise ce type de mission dans un nouveau domaine métier.

L'incertitude générée par ce facteur se limite aux capacités de modélisation des outils utilisés.

Impact

L'incertitude est dégradée de façon aléatoire et inconnue, ces incertitudes peuvent apporter des informations très peu fiables voire erronées.

Mesure de l'incertitude

Impact non mesurable.

⁷ NF EN ISO 19650-1, *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 - Partie 1 : concepts et principes*, Collections AFNOR, 2018.

Tolérances vis-à-vis de l'incertitude non qualifiable

Contrôle

L'information ne peut être prise en compte car son niveau d'incertitude reste inconnu.

Contrôle des informations présentant des incohérences par rapport à d'autres sources d'informations. Une confrontation des informations d'entrée avec les modèles produit dans un outil de coordination est un bon point de départ.

L'incertitude liée à la méthodologie et/ou la technologie

Impact

L'incertitude technologique, telle que nous la définissons, est liée aux incertitudes générées par les outils d'acquisition et de traitement de l'information. Cela peut être par exemple :

- Un défaut de matériel/software ;
- Un mauvais traitement de la donnée.

Le processus choisi d'interopérabilité peut également être une source d'incertitude pour l'information. La conversion d'information d'un modèle d'information à un autre comporte généralement des failles, particulièrement aux conditions limites ou aux cadres mêmes de référence.

La technologie et la méthodologie utilisées vont induire un niveau d'incertitude dans l'exploitation des données. Il convient d'en définir le périmètre.

L'incertitude est acceptable si elle est qualifiée, que ses seuils sont définis et que son niveau est connu.

Exemple

Il convient donc, pour chaque étape de traitement de l'information, d'identifier les incertitudes et de les compiler pour évaluer l'utilisabilité des informations vis-à-vis des exigences.

Le géomètre responsable de l'acquisition de données topographique utilise un matériel disposant d'une précision moindre que celle demandée par le maître d'ouvrage : lidar aérien pour lever un fil de rail demandé avec une précision d'1mm.

Le scanner utilisé pour digitaliser les plans introduit une distorsion lors de la numérisation. L'éventuelle vectorisation subséquente génère une incertitude de calage général du plan et de positionnement de dimension des objets digitalisés (épaisseur du trait/pixel).

Mesure de l'incertitude

Tolérances de l'incertitude

Contrôle

L'incertitude doit être évaluée dans le processus de rétro-ingénierie. Cette évaluation doit être réalisée par des sachants des domaines technologies et méthodologies utilisés.

L'information peut être prise en compte selon les usages attendus par la maîtrise d'ouvrage.

- Contrôle du matériel/logiciel avant l'utilisation ;
- Contrôle des niveaux d'exigences liés aux usages attendus ;
- Processus de contrôle des informations post-traitées ;
- Vérification régulière de la métrologie des outils de mesure utilisés.

Incertaince liée à l'obsolescence de l'information

Les infrastructures ont une durée de vie plus longue que la plupart des informations qui lui sont rattachées. Pendant l'exploitation d'une infrastructure, le contexte ainsi que la vision des niveaux d'information souhaitées évoluent. Ceci peut conduire à un décalage entre les niveaux d'information effectifs des infrastructures et les niveaux d'information souhaités.

Par ailleurs, une information produite à un instant « t » fournit une information fiable à cet instant. Si l'ouvrage ou le contexte évolue, cette information peut alors devenir obsolète.

Contenu / Définition

L'obsolescence peut être considérée comme un niveau d'information (exemple – ouvrage temporaire ou péremption d'un équipement).

L'obsolescence est le fait que les informations ne reflètent plus la réalité de l'ouvrage à l'instant où elles sont consultées. Elles sont périmées.

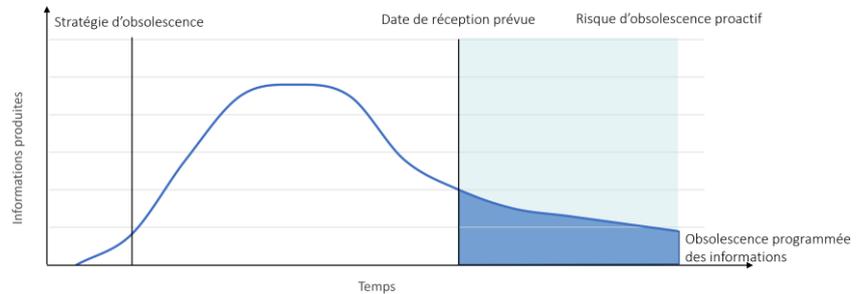


Fig 13. Courbe de production d'informations dans le temps et évolution de leur obsolescence, position des jalons de clé dans la gestion de l'obsolescence.

Ce schéma, provenant de la norme NF EN IEC 62402⁸, nous donne le volume de production de l'information en fonction du temps lié au risque d'obsolescence. Lors de la phase de production d'informations, en phase de conception de l'ouvrage par exemple, l'ensemble des informations a peu de risques d'être obsolète. En phase de conception, la cadence de production d'information décroît même si elle reste soutenue. Après réception, le temps continue à éroder la fiabilité des informations. Par exemple, des tassements rendent obsolète les mesures d'altimétrie, des travaux subséquents rendent obsolètes les plans.

Avant le pic de production d'information, il est important de définir une stratégie de mise à jour de l'information, afin de maintenir et garantir un risque d'obsolescence acceptable, tout au long du cycle de vie de celui-ci.

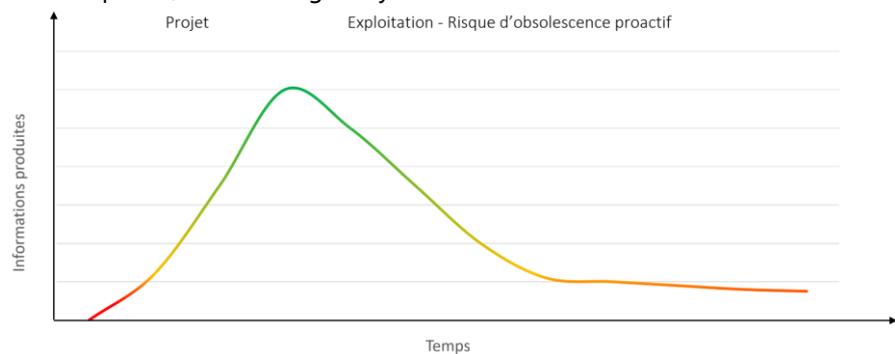


Fig 14. Quantité d'information produite pour contrecarrer l'obsolescence de l'information

Sans stratégie de maintien du niveau d'informations, le temps nécessaire à la mise à niveau, à l'actualisation de l'information, est très important au démarrage des projets. En effet, un jeu d'information maintenu pour prévenir l'obsolescence est exploitable de façon plus directe, avec un niveau de confiance plus élevé.

Exemple : une information est devenue obsolète à la suite d'un événement sur le système physique (travaux de maintenance, incidents, etc.). Si l'information brute, non maintenue, est utilisée pour chiffrer des travaux, l'estimation sera erronée du fait de l'exploitation de cette information obsolète.

⁸ NF EN IEC 62402, *Gestion de l'obsolescence*, Collections AFNOR, 2019.

Dans ce type d'approche, nous rentrons donc dans le schéma réactif : compensation du manque de maintenance de l'information au moment où celle-ci est exploitée. Cette démarche peut être évitée par une réaction proactive comme illustré dans la Fig 15.

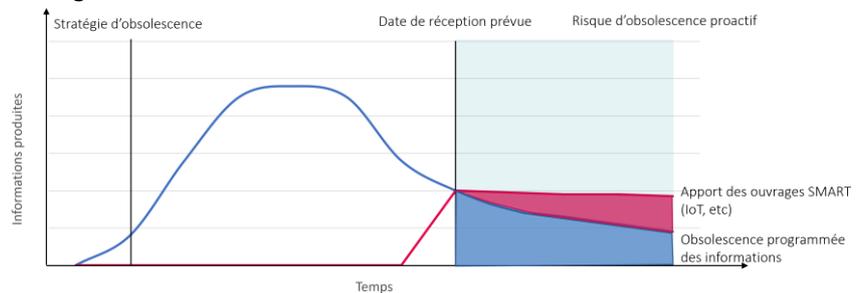


Fig 15. Apports de la stratégie d'obsolescence en complément de la Fig 13

L'obsolescence des informations non maintenues est croissante dans le temps. Il est donc important de collecter au plus tôt les informations modificatives (liées à un événement). Ces actions de collecte continue constituent une gestion réactive de l'obsolescence liée aux aléas.

Impact

L'incertitude de l'obsolescence est impactée par le contexte évolutif de l'ouvrage (réglementaire, nouveau besoin, etc.)

Exemple

L'information reçue n'est pas le reflet du système physique soit par :

- L'évolution du contexte (information incomplète, etc.) ;
- L'information considérée comme trop âgée (mouvements naturels de mon infrastructure, etc.) ;
- L'intervention d'un tiers qui a modifié et/ou impacté le système physique (un rechargement de chaussée a eu lieu depuis la production des plans qui ont été fournis).

Critère de l'incertitude

Lié au temps / l'action d'un tiers.

Mesure de l'incertitude

L'impact de cette incertitude devra être analysé de façon pragmatique en lien avec les niveaux d'informations reçues et les usages de rétro-ingénierie fixés.

Tolérances de l'incertitude

L'information peut être prise en compte selon les mesures de l'incertitude.

Contrôle

- Contrôle et éventuel croisement des informations provenant de différentes sources avant l'utilisation ;
- Contrôle des niveaux d'exigences liés aux usages attendus ;
- Analyse des risques des informations post-traitées.

4.3 La retranscription de l'incertitude

Définition de l'incertitude dans le risque selon la norme NF ISO 31000

La norme NF ISO 31000⁹ définit l'effet de l'incertitude sur les objectifs du projet : « l'incertitude se définit comme le manque de connaissance d'un événement qui réduit la confiance dans les conclusions tirées des informations ».

Dans la définition du risque dans la norme, on doit noter :

- L'importance de consigner, contrôler et communiquer les objectifs du projet ;

⁹ NF ISO 31000, *Management du risque - Lignes directrices*, Collections AFNOR, 2018.

Selon la norme ISO 9001:2015 ; risque ou opportunité

Renseigner l'information dans les modèles issus du processus

- Que toutes les incertitudes ne soient pas obligatoirement des risques (norme FD X 50-117¹⁰) mais liées à la condition, *sine qua non*, que l'évènement potentiel doit être identifiable et mesurable :
 - Si l'évènement potentiel est identifiable mais non quantifiable, c'est un aléa ;
 - Si l'évènement potentiel est non identifiable, c'est un imprévu.

Dans tous les cas, « tout projet par son caractère d'unicité est par nature porteur d'incertitudes ». Il s'agit pour les acteurs du projet d'appréhender ses incertitudes en évitant toutes formes de biais.

Si l'on se réfère au référentiel de la norme NF EN ISO 9001¹¹ :

- Le risque est défini comme un effet de l'incertitude, un écart positif ou négatif par rapport à une attente ;
- L'opportunité est quant à elle une circonstance qui survient dans l'environnement de l'organisation, et qui permet une amélioration de sa performance.

Bien identifier les risques et opportunités de son organisation permet de faire de la gestion de risques un véritable outil d'amélioration continue.

Les incertitudes doivent être, dans la mesure du possible, reportées dans les modèles BIM sortants. Cette information sera indispensable pour que les utilisateurs des modèles issus des processus BIM puissent eux-mêmes évaluer la fiabilité des informations en leur possession.

4.4 Exemples dans le contexte Ouvrage d'Art / Chaussée

Des exemples pour expliciter les concepts

Exemple modélisation à partir d'un plan : obsolescence et facteur humain

Pour rendre plus compréhensible les concepts développés ci-avant, deux exemples sont proposés ci-après. L'un est un cas de modélisation à partir d'un plan du DOE, le second, une modélisation réalisée à partir d'un nuage de points.

Dans l'exemple ci-après, une incertitude liée au dessin source, si elle n'est pas traitée, va conduire à une incertitude dans le modèle BIM qui va en découler.

À cette incertitude d'information, peut s'ajouter une incertitude liée au facteur humain à travers l'interprétation des informations et le niveau de maîtrise de la technologie employée.

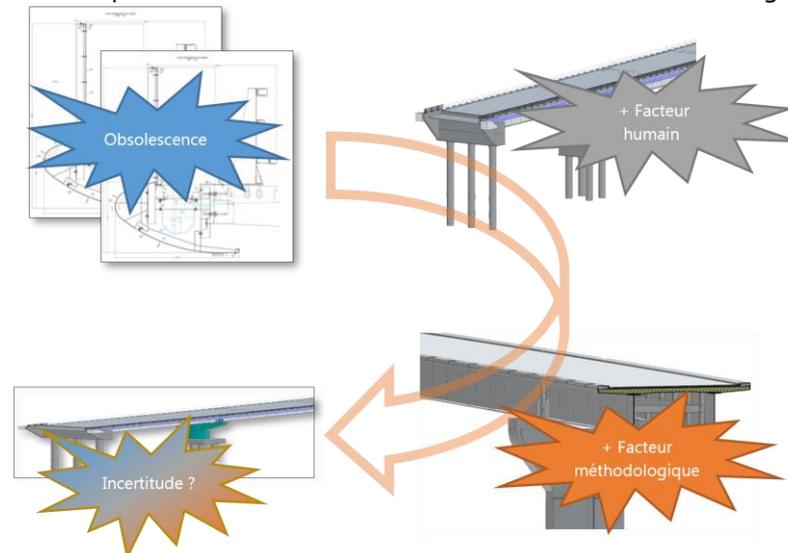


Fig 16. Représentation du cumul des incertitudes dans le processus de rétro-ingénierie.

¹⁰ FD X50-117, *Management de projet - Gestion du risque - Management des risques d'un projet*, Collections AFNOR, 2003.

¹¹ NF EN ISO 9001, *Systèmes de management de la qualité - Exigences*, Collections AFNOR, 2015.

Cas d'une modélisation à partir d'un nuage de points

Dans l'exemple ci-après, la modélisation est réalisée à partir d'un nuage de points obtenu par lasergrammétrie.

L'information lasergrammétrique est liée à différents critères d'incertitude qui « éloignent » l'indice de fiabilité du centre de la cible d'incertitude optimale (Fig 12).

Cette méthode d'acquisition a été définie par un cahier des charges pour avoir une précision de ± 1 cm.

Ce degré de précision ne prend pas en compte les facteurs décrits précédemment à savoir :

- L'humain (erreur d'acquisition et/ou de post-traitement) ;
- L'obsolescence de l'information (dû à un évènement inopiné ou au vieillissement) ;
- Le contexte (accès limité aux outils permettant de lire l'information).

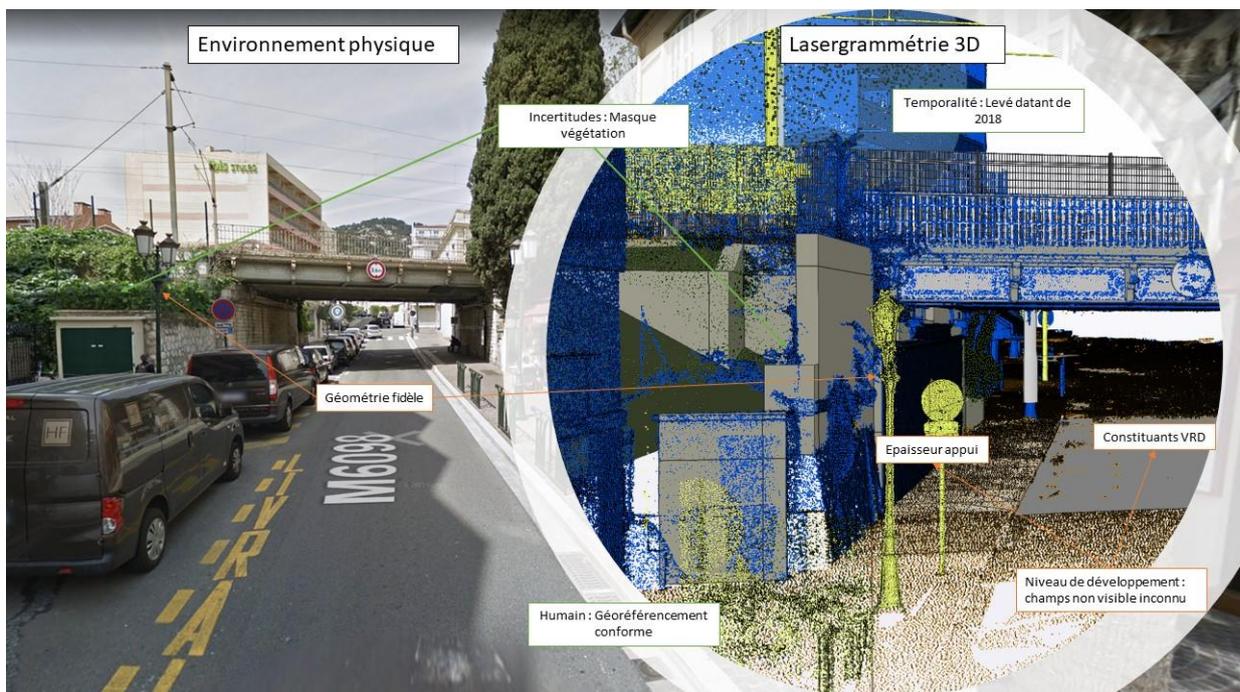


Fig 17. Illustration et localisation des différents éléments d'incertitude

Ici, l'incertitude liée au contexte se caractérise par la présence de végétation. Celle-ci « empêche » l'accès à des informations de dimension (hauteur exacte du mur). Pour réduire cette incertitude, une mesure doit être réalisée par un moyen adapté comme une mesure au tachéomètre. Si cette levée d'incertitude est identifiée au moment de l'exploitation des informations du terrain, la levée de doute nécessitera l'envoi d'une nouvelle équipe.

La formalisation des levées d'incertitudes lors de la contractualisation est donc primordiale. Elle peut éviter un surcoût pour le projet et limiter l'impact environnemental en réduisant le nombre de déplacements.

5. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ ET DE L'ADÉQUATION DES INFORMATIONS D'ENTRÉE

5.1 Les objectifs du contrôle

Un contrôle sous plusieurs angles

Objectif : s'assurer de la conformité aux exigences

Contenu / Définition

Il s'agit ici de mettre en adéquation les informations entrantes avec les informations nécessaires à la réalisation du projet de rétro-ingénierie et à l'utilisation qui en sera faite.

Cette étape doit être précédée de la définition des caractéristiques de l'information entrante (chapitre 3) et de la qualification des incertitudes (chapitre 4).

Les données d'entrée doivent être analysées en fonction des besoins initiaux de l'opération de rétro-ingénierie (voir livrable 2¹²). Leurs niveaux d'informations et d'incertitudes permettent de définir un degré de fiabilité et d'usage de ces informations qui pourra ensuite être mis en adéquation avec les exigences exprimées.

Pour le contrôle de la qualité des informations, les étapes suivantes doivent être respectées :

- Analyse des informations entrantes ;
- Analyse des incertitudes ;
- Adéquation aux besoins ;
- Production de la matrice d'analyse des informations.

Ces analyses correspondent à la dernière étape du processus d'analyse de l'information d'entrée. Elle est présentée dans le schéma ci-dessous.

Workflow

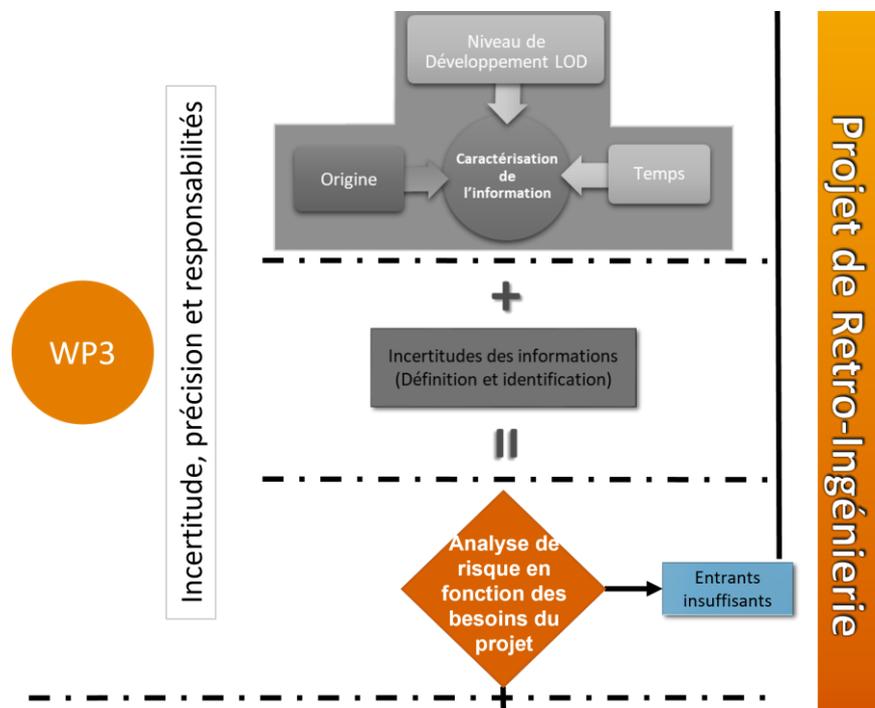


Fig 18. Étape de l'analyse de risque par rapport aux besoins, positionné dans le processus de rétro-ingénierie

¹² William Bayol, Clément Boudet, Johann Cadren, Emmanuel Devys, Laurence Gautier, Denis Le Roux, Benjamin Lehrer, Nicolas Rasoldier, Coline Thoury, Alexandre Vautrin et Layella Ziyani, *GT5 Rétro-ingénierie - Données d'entrée, attentes, volumétrie, op. cit.*

5.2 Évaluation des informations entrantes

Objectifs

Il s'agit ici d'évaluer la qualité intrinsèque des informations entrantes, à l'aide des caractéristiques définies au chapitre 3, afin que celles-ci soient mises en adéquation avec les exigences exprimées.

Méthodologie

Il faut donc s'interroger sur les critères suivants :

- Quel est l'origine de l'information ? (Données brutes, Plan, SIG, Modèle 3D...)
- De quand date cette information ?
- Quel est le périmètre géographique de cette information ?
- Quel est le niveau de représentation de cette information ? (Système de coordonnées utilisée, précision, niveau de détail...)
- Quel est le niveau d'information de cette information ? (Par exemple, quels paramètres ou attributs alphanumériques sont présents).

Ces questions ne sont pas exhaustives et peuvent être complétées par tout autre critère permettant d'évaluer la qualité de l'information entrante.

Les réponses à ces questions permettront de définir la qualité intrinsèque de l'information, qui pourra alors être mise en adéquation avec les exigences exprimées dans le livrable 2¹³ de notre groupe de travail (cf. chapitre 5.5).

5.3 Analyses des incertitudes

Analyse des incertitudes

Les informations entrantes doivent être qualifiées en fonction de leurs incertitudes. Les informations récoltées devront tendre vers leur niveau d'incertitude optimale. Le cas échéant une stratégie de choix d'information est mise en place.

Objectif, apporter de la confiance dans les modèles

Il est nécessaire de déterminer le niveau d'incertitude optimale des informations entrantes. Cela permet d'évaluer le risque à utiliser ces informations pour le projet de rétro-ingénierie. *In fine*, c'est de la confiance dans les modèles sortants du processus qui est en jeu.

L'analyse des incertitudes des informations se fera selon ces trois critères :

- L'humain ;
- La méthodologie liée aux technologies ;
- L'obsolescence.

Humain

Les informations sont altérées par une mauvaise manipulation, ou une mauvaise interprétation.

Les incertitudes liées à l'humain sont difficilement mesurables. Il est donc important de réaliser des contrôles internes et éventuellement externes en cours de production des modèles.

L'analyse et l'exploitation de tableaux de dimensions ou d'attributs issus des modèles produit peut permettre la mise en évidence d'incohérences.

Méthodologie

Les informations sont issues d'une méthodologie de récolte d'informations. Il s'agit ici de déterminer si les méthodes et technologies utilisées sont en adéquation avec les usages du projet de rétro-ingénierie. Par exemple, un levé Lidar de précision peut être en cohérence avec les besoins d'une rétro-ingénierie.

¹³ Ibid.

Obsolescence

La fiabilité des informations sera déduite des méthodologies et technologies employées (précision des instruments, méthodes de post-traitement, etc.).

Ici, une analyse par un expert des méthodes de mesures employées est recommandée.

Les informations reçues appartiennent au passé. Divers facteurs peuvent avoir altéré la conformité des informations à la réalité qu'elles sont censées représenter.

Cette analyse consistera à retracer l'historique du patrimoine considéré afin de d'identifier les zones où l'information est probablement obsolète. C'est en fonction de cet historique, de préférence spatialisé, que l'obsolescence des informations sera évaluée.

Au-delà des facteurs liés à des interventions ultérieures à la création de l'information exploitée, il est également important de prendre en compte les paramètres de vieillissement. Les matériaux utilisés pour la construction sont altérés par les conditions auxquelles ils sont exposés :

- Les propriétés mécaniques d'un béton peuvent évoluer, du fait d'altérations chimiques ;
- Les propriétés physiques de couches de matériaux de chaussée se dégradent du fait de l'exposition au trafic.

L'obsolescence est à étudier *a minima* sous ces deux angles : modifications de l'ouvrage, modification des propriétés physiques. Elle doit être étendue à d'autres thématiques comme la modification de l'usage ou des conditions d'exploitation.

Contexte

Chaque projet est inscrit dans un contexte (physique, sociétal, etc.). Ce contexte peut évoluer. Il est assez facile de s'imaginer que de la végétation a poussé autour d'une infrastructure construite il y a 30 ans. De nouvelles constructions sont tout aussi vraisemblablement apparues. Les normes en matière de protection des populations ou des sites naturels ont, elles aussi évoluées.

L'information doit donc aussi être analysée en corrélation avec son contexte et en fonction des usages de la rétro-ingénierie (cadre normatif, travaux de maintenance, projets concomitants, etc.).

Les nouvelles technologies, nouvel outil de contrôle ?

Les nouvelles technologies comme la réalité augmentée ou encore la photogrammétrie sont de nouveaux atouts pour contrôler les modèles produits. Relativement simples d'utilisation, elles peuvent aider à déterminer l'incertitude optimale des informations reçues par la superposition du projet de rétro-ingénierie aux ouvrages physiques. Une analyse des écarts entre les points d'un nuage de points et un modèle 3D issu d'un processus de rétro-ingénierie est également à considérer.

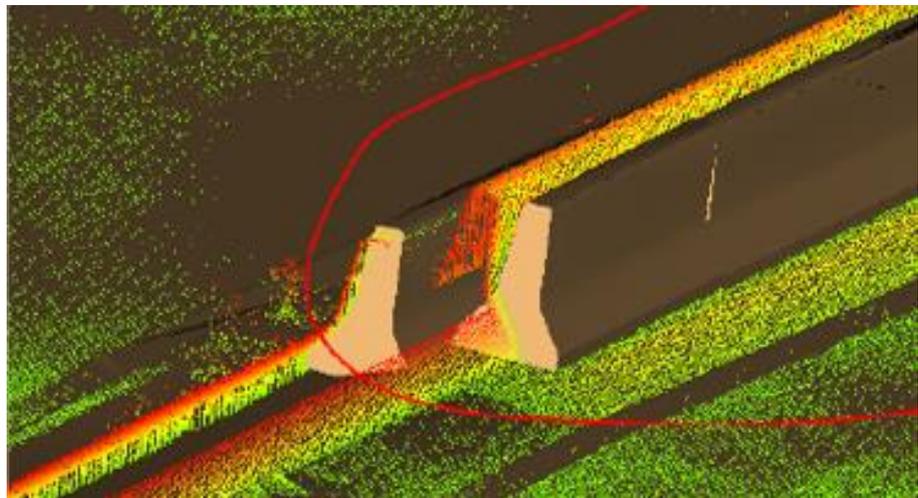


Fig 19. Analyse des distances entre un modèle 3D issu d'un processus de rétro-ingénierie et un nuage de points. Vert = écart faible ; Rouge = écart fort. Source : Setec, Vinci Autoroutes

5.4 Adéquation au besoin

Cohérence de l'incertitude finale avec les exigences

Lorsque les entrants disponibles ont été évalués (cf. chapitre 5.2) et les incertitudes analysées (cf. chapitre 5.3), il est nécessaire de valider leur adéquation avec les besoins exprimés (cf. livrable 2).

Il y a alors plusieurs cas de figures et plusieurs issues possibles :

-  Le premier cas de figure est le plus simple. L'intégralité des informations entrantes est conforme aux attentes et permet de répondre à tous les besoins exprimés. Dans ce cas, le projet de rétro-ingénierie peut continuer en s'appuyant sur ces informations.
-  Le second cas est opposé au premier. Les informations entrantes sont faibles ou inexistantes et ne peuvent en aucun cas couvrir les besoins exprimés par le projet. Il est alors nécessaire d'identifier les informations manquantes afin d'établir un cahier des charges précis pour des levés d'informations complémentaires.
-  Le dernier cas de figure est sans doute le plus délicat et courant. Les informations entrantes permettent de répondre à certains besoins exprimés mais pas de les couvrir dans leur totalité. Il est alors nécessaire de requalifier les attentes du projet de rétro-ingénierie vis-à-vis des informations entrantes disponibles et de statuer sur la poursuite du projet ou sur la nécessité de prévoir des levés d'informations complémentaires pour pouvoir mener à bien le projet.

Quel que soit le cas de figure, il est primordial de tracer les choix qui auront été faits et les informations utilisées pour le projet de rétro-ingénierie. Il est également important de rédiger une note sur le niveau d'incertitude des informations utilisées et donc le niveau d'incertitude général du projet final.

5.5 Matrice d'analyse des informations

Matrice d'analyse des informations

Pour faciliter toutes les analyses citées dans ce chapitre, une matrice d'analyse permettant de compiler et de croiser les différents critères est proposée.

Ce document, présenté en Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, est à utiliser comme cadre de formalisation des analyses à réaliser. Elles sont alors confrontées aux besoins exprimés.

Cette matrice est une extension de celle fournie par le second livrable de notre groupe de travail. La base utilisée fournit un cadre de structuration définissant les exigences propres au projet de rétro-ingénierie.

Le tableau complet est disponible dans le livrable n°049 (MINnDs2_GT5_retro_ingenierie_donnees_entree_anx1_support_processus_049_2023).



Fig 20. Extension de la matrice d'analyse du livrable 2 du GT5.

La matrice d'analyse proposée ici reprend ce cadre et le complète avec les parties suivantes :

- Évaluation des informations de rétro-ingénierie ;
- Analyse des incertitudes ;

- Adéquation au besoin.

EVALUATION DE LA QUALITÉ DES INFORMATIONS VIS-A-VIS DES EXIGENCES					
Exemples de critères d'évaluation des informations					
Couverture Spatiale et Implantation de l'information par rapport au projet			Niveau de développement suffisant		
Périmètre	Précision	Référentiel	Niveau de d'information	Niveau de détail et de représentation	Temporalité (date de modélisation de la donnée)
Les informations couvrent tout l'ouvrage et son environnement	Les plans DOE DvG sont récents et réalisés par un géomètre certifié (Conforme aux attentes de n°-Som en planimétrie et en altimétrie)	Les plans DOE DvG sont géoréférencés dans le système souhaité (Respect du système de coordonnées de référence et de la projection demandée)	Certaines informations sont manquantes : - Absence de PK - Absence du gestionnaire	Plan topographique et réseaux enterrés 3D fidèle, contient toutes les informations nécessaires (diamètre, profondeur, type du réseau, etc.)	Donnée actualisée lors de l'opération d'acquisition
Les informations couvrent surtout les cuées et une partie du tablier	Les plans DOE seuls ne permettent pas d'avoir un modèle précis n°-Som (Décalage évident par rapport aux attentes en planimétrie)	Plans DOE PDF non géoréférencés mais travail en local demandé	Toutes les informations nécessaires sont disponibles (Nom et Type d'ouvrage, Propriétaire, Axe de référence, PK, Sens)	Représentation détaillée : Vue d'ensemble et vue des détails disponibles	Plans DOE datant de la mise en service (04/02/2010)
Les informations couvrent tout l'ouvrage et son environnement	Les plans DOE DvG sont récents et réalisés par un géomètre certifié (Conforme aux attentes de n°-Som en planimétrie et en altimétrie)	Les plans DOE DvG sont géoréférencés dans le système souhaité (Respect du système de coordonnées de référence et de la projection demandée)	Toutes les informations nécessaires sont disponibles (Nom et Type d'ouvrage, Propriétaire, Axe de référence, PK, Sens)	Plan topographique et réseaux enterrés 3D fidèle, contient toutes les informations nécessaires (diamètre, profondeur, type du réseau, etc.)	Donnée actualisée lors de l'opération d'acquisition

Cette partie du tableau est une synthèse de l'évaluation des informations disponibles pour le projet de Rétroingénierie. Pour chaque critère, il s'agit de préciser si il répond ou non aux exigences définies dans la partie précédente. L'évaluation du critère est affichée en vert si il répond aux exigences définies, en jaune si il y répond partiellement et en rouge si il n'y répond pas du tout.

Légende :
 OK : Parfait mais utilisable pour le projet
 Données non recevables

Fig 21. Matrice d'analyse proposée dans le second livrable de notre groupe de travail, évaluation des informations vis-à-vis des exigences.

ADEQUATION ENTRE LE BESOIN ET LA QUALITÉ DES INFORMATIONS		
Analyses des Incertitudes	Adéquation au besoin	Informations entrantes suffisantes pour rétroingénierie ?
Incetitudes	Niveau de fiabilité / exigences	
Incetitudes non liées à la données : - Evolution du trafic (risque contextuel) - Evolution hydro - Evolution réglementaire	Information fiables et en adéquation avec les exigences et incertitudes faibles : OK pour Retroingénierie, reste à préciser le PK et gestionnaire	Conforme au besoin et utilisable malgré quelques informations manquantes ✓
Incetitudes non liées à la données : - Evolution du trafic (risque contextuel) - Evolution hydro - Evolution réglementaire (par exemple stabilité au feu des OA) + Incetitudes liées à la donnée : - Ouvrage partiellement	Niveau de précision des entrants trop faible et non adéquat par rapport au niveau d'exigences - PAS OK pour Rétroingénierie	Précision insuffisante pour le besoin défini - non-utilisable ✗
Incetitudes non liées à la données : - Evolution du trafic (risque contextuel) - Evolution hydro - Evolution réglementaire	Information fiables et en adéquation avec les exigences et incertitudes faibles : OK pour Retroingénierie	Complètement conforme au besoin et utilisable ✓

Cette partie du tableau sert à vérifier l'adéquation entre les exigences définies et la qualité constatée des informations. L'objectif est de déterminer si les informations sont utilisables ou non dans le cadre du projet de rétroingénierie défini.

Fig 22. Matrice d'analyse proposée dans le second livrable de notre groupe de travail, adéquation de la qualité de l'information avec les besoins.

Dans cette matrice d'analyse, nous avons retenu deux contextes :

- Intervention sur l'ouvrage ;
- Intervention à proximité de l'ouvrage.

Pour chacun des deux contextes, nous donnons un exemple pour lesquels les informations entrantes à analyser sont de qualité différente.

Cette matrice donnée à titre d'exemple pourra évidemment être complétée et adaptée pour refléter l'analyse des informations, et des incertitudes. Il est nécessaire de toujours conserver une colonne relative à l'adéquation des informations et des besoins.

6. INTÉGRATION DE LA CHAÎNE DE RESPONSABILITÉS

6.1 En quoi consiste l'intégration de la chaîne ?

Intégration de la chaîne de responsabilités

Chapitre à but exploratoire, non applicable dans les contrats en l'état

Éléments constitutifs de la chaîne de responsabilité

Propriété de la donnée, transition numérique et transferts de données au sein de la chaîne de responsabilité

La mise en place d'échange d'information partagée numérique est source d'opportunités de gain de temps et d'amélioration des études en rétro-ingénierie. Elle doit aussi être traitée contractuellement. Avec un mode projet en BIM, les frontières des rôles et des responsabilités sont appelées à évoluer avec la transformation des pratiques professionnelles, des outils et des méthodes.

La rétro-ingénierie implique traitement de nombreuses données d'entrée et de différentes natures. L'analyse et le traitement sont conduits au regard des besoins finaux (communication, BIM conception, DOE numérique, maquette d'exploitation).

Les données d'entrée deviennent majeures et impliquent une responsabilité quant à leur production, leur analyse, leur validation. C'est ce processus qui implique l'ensemble des contributeurs et leur confère à chacun une responsabilité.

Le contenu du présent chapitre a été réalisé par des techniciens du BIM et des projets. Bien que plusieurs juristes et spécialistes aient été consultés pour rédiger ce document, il ne peut être appliqué en l'état de façon contractuelle.

Il est à utiliser comme un document donnant des pistes de contractualisation et de gestion de la responsabilité. Tous les choix pris dans le cadre de projets sont à soumettre à des spécialistes juridiques pour validation.

Dans la chaîne de responsabilité, il convient de traiter les éléments suivants y compris les objectifs et les processus déjà abordés dans les chapitres précédents, cette fois sous un angle de la responsabilité en rétro-ingénierie :

- Les acteurs et leurs rôles respectifs ;
- Les contrats liant les différents acteurs entre eux ;
- Les objectifs ;
- Les processus, inclus dans les conventions BIM, liés au transfert, au contrôle et à la validation de la donnée.

Les bases d'informations doivent être communes, contrôlées et partagées par l'ensemble des acteurs du projet. Cela permet d'utiliser les informations créées par d'autres intervenants afin de leur ajouter de la valeur et de l'expertise. Cette nouvelle chaîne de valeur doit être définie et passe par des transferts au sein de la chaîne de responsabilité.

La dématérialisation de l'ensemble des informations et des processus est un enjeu pour nos métiers. L'idée est de pouvoir représenter de manière homogène l'ensemble des informations produites tout au long du cycle de vie d'un ouvrage, et que chaque acteur puisse les utiliser et les enrichir.

Or, un grand nombre d'acteurs est impliqué dans la conception, la réalisation et l'exploitation d'un ouvrage. Chaque acteur est responsable de la création d'une partie de l'information et/ou des objets intégrés aux modèles BIM concernant l'ouvrage. Il utilise généralement une partie de l'information produite par d'autres acteurs comme information d'entrée lors de l'exécution de ses tâches. Afin de répondre à ce besoin, l'approche BIM s'est imposée en tant que standard international.

Traditionnellement, et faute d'interopérabilité idéale, l'échange de plans papier ou numériques produits par un acteur A demande une ressaisie des informations par l'acteur

B qui souhaite les utiliser dans son processus de conception. L'acteur B doit aussi s'appropriier les informations et contrôler leur qualité (cohérence et conformité).

La récupération d'informations dans une base partagée impose une confiance dans la qualité des informations. En effet, elles sont alors utilisées comme telles, sans remise en cause et sans contestation. Mais ceci n'est possible que si les informations sont accompagnées d'une notice technique précisant leur origine, leur niveau de précision et leurs limites. Il est important de se référer aux chapitres précédents, en particulier le chapitre 3.4 du livrable 2 de notre groupe de travail¹⁴.

L'information reste la propriété et donc de la responsabilité de celui qui l'a produite. Et ce qui est conçu par un second acteur à partir de cette information demeure également la propriété de ce second auteur, sans que la responsabilité de l'information de base soit modifiée.

Workflow

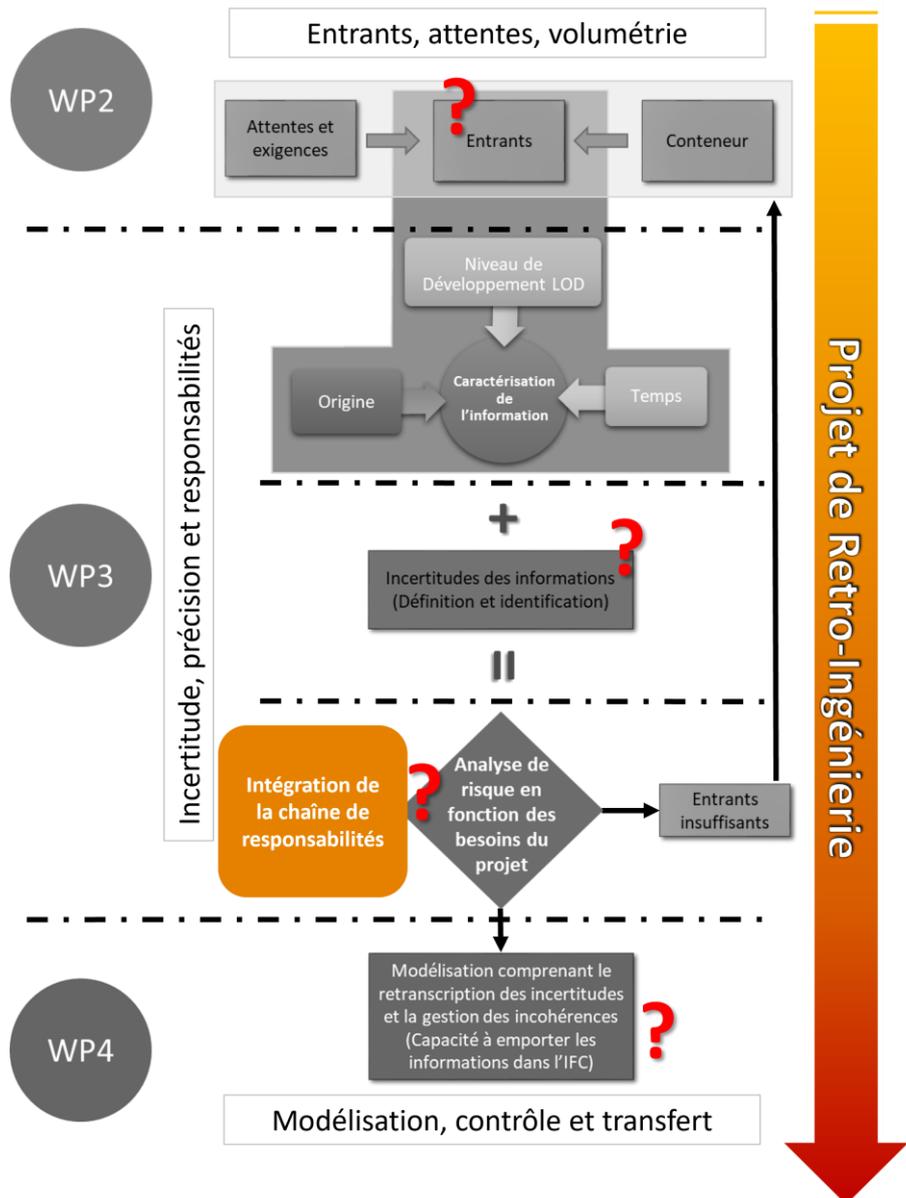


Fig 23. Positionnement de la responsabilité dans le processus de rétro-ingénierie.

¹⁴ Ibid.

6.2 Bilan et évolutions juridiques depuis la Saison 1 et liens avec les autres travaux de la Saison 2

Rappel des travaux de la saison 1

Responsabilités et assurances

Identification des enjeux juridiques liés à l'utilisation du BIM - Point sur la réglementation applicable au BIM

Lors de la première saison de MINnD, plusieurs travaux soulignent le lien entre l'évolution des méthodes de travail d'une démarche BIM et le décalage avec le cadre juridique. Le thème 4 sur les aspects légaux et contractuels a conduit à la production de trois livrables :

- BIM - Responsabilités et assurances¹⁵ ;
- Identification des enjeux juridiques liés à l'utilisation du BIM - Point sur la réglementation applicable au BIM - Explication des droits de propriété (février 2016)¹⁶ ;
- BIM : Aspects juridiques et contractuels (avril 2019)¹⁷.

Le premier livrable traite spécifiquement des responsabilités et assurances des signataires d'une « convention BIM », cadre contractuel et organisationnel de mise en place des processus BIM. Au-delà de la responsabilité civile, chaque intervenant au processus BIM doit se positionner en fonction de l'étendue de sa mission définie dans la convention BIM pour savoir si sa responsabilité décennale est susceptible d'être engagée.

Sur la question des assurances, le fait de travailler suivant un processus BIM ne doit pas être considéré comme une particularité car ce n'est pas un risque en soi au regard de l'ouvrage à réaliser. Il est recommandé de veiller à l'adaptation des contrats en cours pour déclarer si besoin à des assureurs les missions résultant d'une convention BIM car certains pourraient considérer qu'il s'agit d'une activité nouvelle non couverte à défaut d'une extension de garantie.

La question de la souscription d'une assurance RC Décennale se posera obligatoirement pour tous les contributeurs nouveaux au processus BIM dans la mesure où ils sont liés directement par un contrat avec le maître d'ouvrage.

La mise en place d'un processus BIM peut également être considérée comme une meilleure gestion du risque et peut être valorisée dans la contractualisation d'un contrat d'assurance en responsabilité.

Le deuxième livrable traite de l'imposition du BIM et de la Directive européenne 2014/24 du 26/02/2014 relative à la passation des marchés publics permettant aux États membres d'exiger l'utilisation d'outils de modélisation électronique des données du bâtiment. Elle a été transcrite partiellement en France par l'ordonnance du 23/07/2015 sans disposition spécifique au BIM.

Le livrable évoque l'évolution de la Loi MOP (Ordonnance du 26 novembre 2018 portant partie législative du Code de la Commande publique et Décret du 3 décembre 2018 portant partie réglementaire du Code de la Commande publique) en particulier certaines missions comme le VISA et de l'apparition de nouvelles exigences. Parmi ces nouvelles exigences sont listées :

- La demande d'une base de données pour la maintenance ;
- La demande d'une base de données pour l'exploitation de l'ouvrage construit ;
- L'obligation d'utiliser ou non des logiciels.

Un volet important de ce livrable traite de la protection des actifs immatériels de l'entreprise.

¹⁵ Valérie Baillat, Anne-Lise Gillet et Christian Motary, *BIM - Responsabilités et assurances*, MINnD_TH04_01_BIM-Responsabilités-Assurances_012_2018, 2016.

¹⁶ Morgan Lefauconnier et Christophe Merienne, *Identification des enjeux juridiques liés à l'utilisation du BIM - Point sur la réglementation applicable au BIM - Explication des droits de propriété*, R/16/MINND/009 LC/15/MINND/62, 2016.

¹⁷ Sabine Ayraud, Pierre Benning, Elisabeth Botrel, Danièle Bourcier, Angelo Ciribini, Vincent Cousin, Louis Demilecamps, Anne-Lise Gillet, Morgan Lefauconnier, Emmanuel Natchitz et Jean-Luc Ravier, *BIM : Aspects juridiques et contractuels*, MINnD_TH04_03_Aspects_juridiques_contractuels_BIM_023_2019, 2019.

BIM : Aspects juridiques et contractuels

Le troisième livrable, publié en avril 2019, est le fruit de nombreux contributeurs et intègre les éléments issus des deux premiers livrables y compris un glossaire.

Les objectifs visés par une stratégie BIM y sont regroupés en trois grandes catégories :

- Techniques et opérationnels (intégrant la notion de traçabilité sur le cycle de vie de l'ouvrage) ;
- Juridiques et contractuels (incluant la définition d'ordre de priorité en cas de contradiction entre les différents documents) ;
- Juridiques et économiques.

Le document traite de l'organisation de la collaboration autour d'un modèle partagé et de l'apport de la valeur ajoutée par chacun par intégration des données issues de son propre processus et du respect des responsabilités par historisation des modifications.

La directive INSPIRE 2007/2/CE du 14 mars 2007, modifiée le 26 juin 2019¹⁸, a pour objet le développement de la production de données spatiales à une échelle européenne et le partage des données géographiques et environnementales au profit du grand public :

- Cela inclut une obligation de créer la métadonnée ;
- De la mettre à jour ;
- De la mettre à disposition sous un format interopérable.

En France, la directive transposée en droit français par l'ordonnance n°2010-1232 du 21 octobre 2010 conduit à la mise en œuvre de Géoportail et de Géocatalogue comme « catalogue central » de connaissance des territoires.

Le livrable MINnD met en avant les outils pouvant être utilisés pour guider la mise en place de la démarche BIM dans un cadre formalisé. Il cite en particulier :

- Le guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage produit dans le cadre du PTNB par la Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques (MIQCP) en 2016¹⁹ ;
- Le guide pour une convention BIM de buildingSMART France en 2018²⁰.

Il dresse aussi un état de l'art sur la mise en place du cadre légal autour du BIM à l'international.

Les aspects juridiques et contractuels traités au cours de la saison 1 sont applicables à la mise en place d'une mission avec démarche BIM, mais ne couvrent pas la thématique de la rétro-ingénierie. En effet, les spécificités et notamment autour des informations entrantes n'y sont pas évoquées.

Les principales évolutions depuis 2016

Les différentes publications ou textes juridiques publiés entre 2014 et 2018 ayant éclairé ou fait évoluer l'organisation des chaînes de responsabilités dans la démarche BIM et identifiés par notre groupe de travail sont :

- Directive européenne INSPIRE²¹ ;
- Directive européenne Marchés Publics²² ;
- Transpositions françaises de ces deux directives européennes ;
- Rapport PICAN²³ ;

¹⁸ Journal officiel de l'Union européenne, Directive 2007/2/CE du Parlement Européen et du Conseil du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (INSPIRE), 2019.

¹⁹ Plan Transition Numérique dans le Bâtiment - Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, BIM et maquette numérique - Guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage, 2016.

²⁰ buildingSMART France - Mediaconstruct - MINnD, Comment rédiger une convention BIM ?, 2018.

²¹ Journal officiel de l'Union européenne, Directive 2007/2/CE du Parlement Européen et du Conseil du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (INSPIRE), op. cit.

²² Journal officiel de l'Union européenne, Directive 2014/24/UE du Parlement Européen et du Conseil du 26 février 2014 sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive 2004/18/CE, 2014.

²³ Xavier Pican, Mission « droit du numérique & bâtiment », Rapport au Président du Conseil Supérieur de la Construction et de l'Efficacité Énergétique et au Président du Plan Transition Numérique dans le bâtiment, 2016.

**CCAG travaux et
CCAG MOE en vigueur
au 01 avril 2021**

**La donnée au cœur des
processus BIM**

- Guide MIQCP²⁴ ;
- Guide Médiaconstruct²⁵.

Puis en 2021 :

- CCAG travaux²⁶ ;
- CCAG MOE²⁷ ;
- Guide d'une opération de construction publique en BIM²⁸.

La révision du CCAG travaux introduit la convention BIM comme pièce du marché.

Le DOE numérique n'est pas évoqué dans le CCAG Travaux et la Plateforme Numérique est citée non pour la démarche BIM spécifiquement mais pour servir en tant que registre de chantier.

À l'article 2 du CCAG-MOE, sont introduites plusieurs définitions qui couvrent les documents de référence de la démarche BIM, à savoir le cahier des charges BIM et la convention BIM. Il y est précisé que le cahier des charges BIM est un document relevant de la maîtrise d'ouvrage.

À l'article 4 du CCAG-MOE, dans les pièces du marché, sont introduites par ordre de priorité le cahier des charges BIM en 6^e position (derrière le CCTP) et en dernière position la convention BIM et ses évolutions successives.

À l'article 20, les maquettes sont introduites dans la liste des résultats et des éléments pour la prise de connaissance.

La donnée occupe une place centrale dans les processus BIM et elle en est même la matière première, comme indiqué au chapitre 27 du Guide d'une opération de construction publique en BIM. Et il conviendrait d'ajouter qu'il en est de même en rétro-ingénierie.

Lors d'une mission de rétro-ingénierie, le maître d'ouvrage doit bien faire la distinction entre les données existantes utiles pour le projet dans son cahier des charges BIM, comme vu précédemment dans les chapitres précédents et les autres.

En effet, les différentes données n'ont pas le même statut juridique, selon les acteurs dont elles proviennent, cf. 3.2 Origine des données.

Le Guide d'une opération de construction publique en BIM précise :

« Le processus BIM s'inscrit pleinement dans cette définition en ce qu'il implique la production, la collecte et le partage de données, par et entre les intervenants. Dans ce cadre, la maquette numérique constitue le support de ces échanges d'informations, contenant l'ensemble des données ».

« La gestion des données soulève alors des questions en matière de protection et d'utilisation de la donnée ».

« La nature juridique des données est en fonction du type d'information qu'elles traduisent ». « L'identification des différents types de données apparaît comme préalable à l'identification du régime juridique appliqué ».

Il faut donc dissocier les différents types de données :

- Les données ouvertes (donnée publique, open data, etc.) en accès libre ;
- Les données dites « propriétaires » couvertes par le secret des affaires ;

²⁴ Plan Transition Numérique dans le Bâtiment - Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, *BIM et maquette numérique - Guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage*, op. cit.

²⁵ Medi@construct, *Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM*, 2016.

²⁶ Journal officiel de la République française, *Arrêté du 30 mars 2021 portant approbation du cahier des clauses administratives générales des marchés publics de travaux*, 2021.

²⁷ Journal officiel de la République française, *Arrêté du 30 mars 2021 portant approbation du cahier des clauses administratives générales des marchés publics de maîtrise d'œuvre*, 2021.

²⁸ Laurent Bidault et Candice Hassine, *Guide d'une opération de construction publique en BIM*, Éditions Le Moniteur, 2021.

La donnée ouverte en France

- Les données confidentielles réservées à des personnes autorisées et dont l'utilisation est limitée au projet ;
- Les données personnelles pouvant porter sur des informations se rapportant à une personnes physique identifiée (respecter les textes de la RGPD).

En France, il existe 135 bases de données publiques mises à disposition par 43 gestionnaires sur www.etalab.gouv.fr.

Comme dans l'exemple suivant, chacune dispose de clauses de mise à disposition des données cadrant la responsabilité du ré-utilisateur.

Exemple : « *L'Information* » est mise à disposition telle que produite ou reçue par le « *Producteur* », sans autre garantie expresse ou tacite qui n'est pas prévue par la présente licence. Le « *Producteur* » garantit qu'il met à disposition gratuitement « *L'Information* » dans les libertés et les conditions définies par la présente licence. Il ne peut garantir l'absence de défauts ou d'irrégularités éventuellement contenues dans « *L'Information* ». Il ne garantit pas la fourniture continue de « *Information* ». Il ne peut être tenu pour responsable de toute perte, préjudice ou dommage de quelque sorte causé à des tiers du fait de la réutilisation. Le « *Ré-utilisateur* » est le seul responsable de la réutilisation de « *L'Information* ». La réutilisation ne doit pas induire en erreur des tiers quant au contenu de « *L'Information* », sa source et sa date de mise à jour.

La donnée propriétaire...

Le Guide d'une opération de construction publique en BIM précise :

« *Juridiquement, la confidentialité se traduit à deux niveaux.*

Tout d'abord sur un plan contractuel générique qui consiste à qualifier les informations comme étant confidentielles, à désigner les personnes tenues par cette confidentialité en précisant l'étendue de leur engagement ».

« *Ensuite les modalités des obligations qu'elle génère seront directement impactées par les ressources numériques et diverses applications qui vont traiter ce type de données.*

À ce titre, la convention BIM, destinée notamment à organiser les modalités de la collaboration y compris au moyen de déploiement d'application numérique et web notamment, doit prévoir et détailler les différentes mesures de sécurité mises en œuvre pour garantir la confidentialité. »

C'est pourquoi, la convention BIM doit définir des processus clairs sur la confidentialité de la donnée : gestion des comptes d'accès, conditions d'hébergement des données, dispositifs de sécurité des applications.

« *La confidentialité peut donc s'appréhender comme un dispositif juridique qui permet de choisir les informations à protéger, peu importe leur nature. Elle concerne les informations relevant du secret des affaires. »*

...Appliquée à la rétro-ingénierie

Le processus de rétro-ingénierie conduit à la manipulation d'une quantité importante d'informations. Il est donc essentiel d'identifier les données utiles pour le projet dès le début du processus.

Une information utile permet d'augmenter le niveau de connaissance de l'objet physique dont le processus de rétro-ingénierie fait l'objet. L'unicité des informations renvoie également au principe de la sobriété numérique. À cet égard le lecteur est renvoyé au livrable MINnD GT0-5 Impact carbone²⁹.

Un fois le niveau d'utilité d'une information cible déterminée, il convient de l'intégrer dans le processus BIM et de qualifier l'information (dimension métier et numérique). Cette démarche fait partie intégrante de l'analyse des besoins du Maître d'Ouvrage. Elle peut s'apparenter à l'établissement d'une cartographie des informations.

²⁹ Imane Ammad, Pierre Benning, Anne Dony, Thierry Douceron, Maud Guizol, Jean-Pierre Jacquet, Anne-Laure Levent, Renaud de Montagnac, Koji Negishi et Layella Ziyani, *Impact Carbone des Données Numériques, MINnDs2_GT0.5_impact_carbone_donnees_numeriques_032_2022*

Liens avec GT2 (DOE numérique)

La qualité des informations peut être également fonction de leur exhaustivité. Leur complétude conditionne leur réutilisation dans un processus de rétro-ingénierie.

« Toute convention BIM doit contenir des exigences quant à la structuration des données dans la maquette numérique qui vont concerner directement les contributeurs BIM. La qualité du traitement numérique procède de celles des ressources numériques déployées pour produire les données ou les partager ».

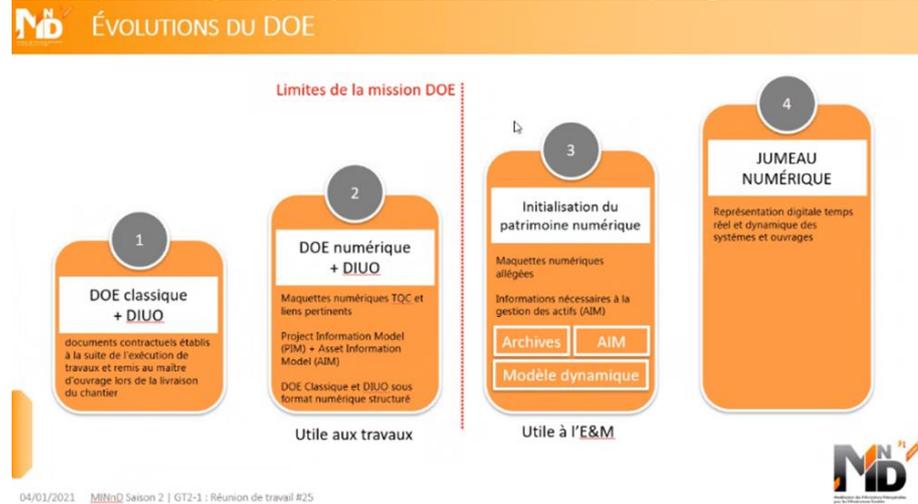


Fig 24. DOE numérique – MINnD S2 – GT2

Le GT2 interroge les limites de responsabilités dans la production du livrable DOE numérique.

La réflexion portée par le GT5 sur les chaînes de responsabilité en rétro-ingénierie positionne selon les cas de figure :

- En aval en tant qu'utilisateur de DOE numérique (que ce soit pour la conception ou l'exploitation) ;
- En amont selon le même cheminement cette fois en tant que producteur du DOE numérique.

Interrogations communes sur l'initialisation du patrimoine numérique

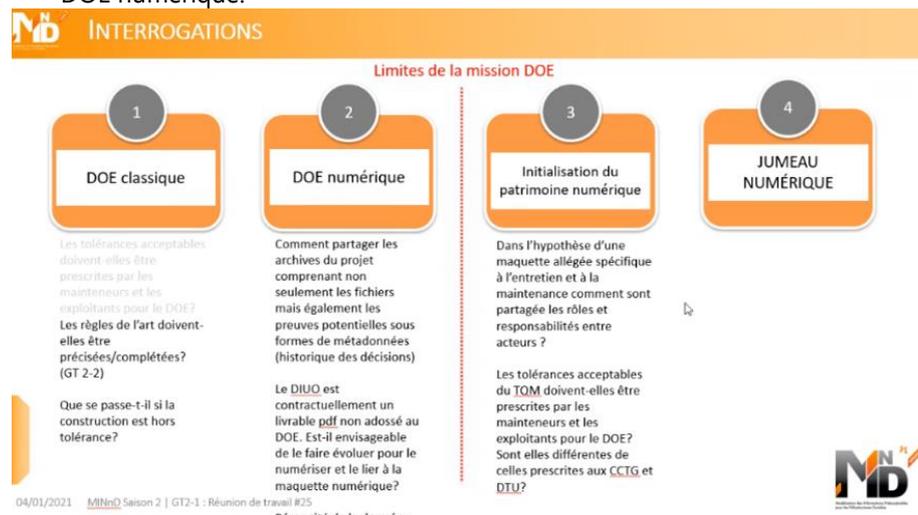


Fig 25. Illustration de problématiques et de responsabilités lors de la constitution d'un DOE numérique – MINnD S2 - GT2

Finalement, la stratégie adoptée pour garantir la qualité des données du DOE numérique recoupe celle des acteurs de la rétro-ingénierie utilisateurs du livrable DOE. Cette stratégie fait partie des éléments utiles à la définition de la chaîne de responsabilités.

6.3 Questionnements et présentation simplifiée de la chaîne des responsabilités

Rétro-ingénierie et chaîne de responsabilités

Des acteurs impliqués multiples, pas toujours identifiés

Dans le cadre spécifique de la rétro-ingénierie, la chaîne de responsabilités est diffuse dans le processus. Une analyse des missions détaillées dans les chapitres 3 à 5 (de la caractérisation au contrôle des informations) est conduite dans le présent chapitre. Elle porte sur les acteurs impliqués, leurs rôles et leurs liens contractuels.

La chaîne de responsabilités est de nature à évoluer d'une opération à l'autre. En effet, les missions, leur contenu et le contexte sont adaptés aux objectifs BIM et aux outils utilisés. Ces missions sont ajustées notamment au séquençage et à la succession des interventions respectives de chaque acteur et aussi aux phases collaboratives impliquant des interventions de plusieurs acteurs.

Les cahiers des charges BIM définissent les éléments techniques du BIM, les missions, les périmètres et livrables de chacun. Néanmoins, la production peut être affectée par la manière dont interagissent les processus numériques de rétro-ingénierie. La superposition de contrats et/ou de périmètres est également un risque à gérer.

Cette chaîne est formalisée dans ce chapitre en partant du processus de la production de l'information jusqu'à l'utilisation des modèles issus du processus de rétro-ingénierie.

Les acteurs impliqués dans chaque opération de rétro-ingénierie peuvent être répartis en cinq catégories. Certains acteurs peuvent figurer dans plusieurs catégories :

- La maîtrise d'ouvrage ;
- Les producteurs d'Open Data ;
- Les prestataires de fourniture de données ;
- Les prestataires de rétro-ingénierie ;
- Les utilisateurs des livrables.

1. La maîtrise d'ouvrage :

La maîtrise d'ouvrage définit le marché de rétro-ingénierie et contractualise les exigences dans le cahier des charges. De plus, il intervient pour finaliser le processus en réceptionnant les livrables.

2. Les producteurs d'Open Data :

Les producteurs d'open data ne sont pas liés à la maîtrise d'ouvrage et sont ici comme fournisseurs de données d'entrée pour la prestation de rétro-ingénierie.

Pour exemple, nous pouvons citer les données topographiques du site par l'IGN. Il s'agit d'informations générales produites non spécifiquement dans le cadre de la prestation.

3. Les prestataires de fourniture de données :

Contrairement aux informations fournies de façon générique, ces prestataires produisent de l'information entrant spécifiquement dans le cadre de l'opération de rétro-ingénierie (éventuellement incluse dans un ensemble d'opérations). Elle est produite spécifiquement pour la Maîtrise d'Ouvrage ou un utilisateur de l'opération de rétro-ingénierie.

4. Les prestataires de rétro-ingénierie :

Il s'agit des opérateurs de la mission de rétro-ingénierie. C'est le principal acteur de l'intégration de l'information entrante pour la production d'un modèle final. Ce livrable final assimile les informations utiles et nécessaires produites antérieurement à la prestation. L'analyse et la qualification des informations utilisées font partie de ses missions.

5. Les utilisateurs de la prestation de rétro-ingénierie :

Les étapes du processus, les points de transferts de la responsabilité

Contractualisation, un élément clé

Il est l'utilisateur principal des livrables du projet de rétro-ingénierie. Il lance le processus en définissant ses besoins quant à l'usage qu'il va faire des livrables.

Dans le processus de définition des responsabilités, l'analyse porte sur les cinq principales étapes d'une opération de rétro-ingénierie :

- La contractualisation ;
- La fourniture des informations ;
- L'analyse et le contrôle des informations dans les données entrantes ;
- L'utilisation des informations et la production en rétro-ingénierie ;
- La livraison.

Dans le contexte actuel, les missions incluant une démarche BIM comme la rétro-ingénierie sont cadrées par les marchés liant les différents protagonistes de l'opération : l'ingénieur avec la maîtrise d'ouvrage, le fournisseur avec l'ingénierie et/ou avec la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'ouvrage et son exploitant.

Le site www.lexterraavocat.fr traite en partie ce sujet³⁰. Juridiquement, la convention BIM est un contrat, soit un accord entre plusieurs personnes faisant naître des obligations entre elles dans un but déterminé ; les engagements pris dans une convention BIM vont s'imposer à ses signataires comme pour n'importe quel contrat, étant précisé que sauf dans l'hypothèse d'un BIM volontaire ces obligations trouveront leur source dans les contrats respectifs des signataires de la convention antérieurs à celle-ci. Pour le dire en une phrase : la convention BIM va développer ou redévelopper sous la forme d'engagements obligatoires les contributions des acteurs en charge de la mise en œuvre de la démarche BIM, en vue de répondre à la demande du maître de l'ouvrage.

La convention telle qu'elle vient d'être présentée expose le processus BIM d'un point de vue opérationnel, sans rendre compte de l'ensemble des liens de droit intervenants entre les acteurs BIM, définissant les droits et devoirs de chacun. En effet, le cahier des charges BIM dont il a été question, a été évoqué de manière unitaire et la convention BIM est supposée répondre à cette demande (ou commande) du maître de l'ouvrage.

Cette configuration pourra se vérifier lorsque le marché sera passé avec une entité unique, par exemple dans le cadre d'un marché de conception / réalisation en marchés publics. À l'inverse, on peut imaginer une prise en compte de la demande BIM du Maître de l'ouvrage dans les contrats conclus individuellement avec les acteurs de l'opération BIM, au travers de contrats dédiés ou de clauses spécifiques, au sein d'accords dépassant le BIM. Dans ce dernier cas, les acteurs seront le plus souvent en charge d'une mission à laquelle se rattacheront accessoirement des obligations au regard de la maquette BIM.

En dehors de la convention, d'autres contrats doivent donc être pris en compte pour apprécier les contours du projet BIM. Ces contrats influenceront le contenu de la convention BIM.

Au-delà, il faut signaler que la nature publique ou privée de l'opération aura des effets sur la structure contractuelle de l'opération BIM donc de la convention BIM. Il paraît difficile d'établir une liste type des contrats concernés par un projet BIM.

Toutefois, et même s'ils ne seront pas à chaque fois présents, on peut distinguer :

- Les contrats propres au projet BIM ;
- Le contrat de l'AMO BIM ;
- Le ou les contrats du BIM manager ou BIM management ;
- Le ou les contrats des éditeurs de logiciels BIM ;
- Le ou les contrats des prestataires informatiques BIM ;
- Le ou les contrats ou Conditions Générales d'Utilisations des bibliothèques d'objets ;

³⁰ David Richard, *Nouveaux CCAG : une reconnaissance légale du BIM à la portée non négligeable*, Lex Terra Avocat, 2021, <https://www.lexterraavocat.fr/nouveaux-ccag-bim.html> (consulté le 22 mai 2023).

Fourniture des informations

Analyse et contrôle des informations : des étapes indispensables. Quels questionnements faut-il suivre ?

Production du modèle BIM de rétro-ingénierie

Livraison du modèle de rétro-ingénierie

- Les contrats de construction prenant en compte le projet BIM :
 - Le ou les contrats de maîtrise d'œuvre ;
 - Les contrats d'entreprises ;
 - Le contrat du géomètre-expert ;
 - Les contrats avec les bureaux d'études et consultants ;
 - Le contrat du contrôleur technique et du coordinateur SSI ;
- les contrats d'exploitation-maintenance prenant en compte les projets BIM.

Cette étape conduit à la mise à disposition des informations telles que définies comme nécessaires par le prestataire de rétro-ingénierie et intégrées dans la convention BIM ou *a minima* dans les documents de contractualisation. Les informations sont issues des bases d'informations existantes ou produites spécifiquement.

Le processus de rétro ingénierie vise également à la pérennisation de ces informations.

Cette étape d'analyse et contrôle de l'information constitue le cœur des chapitres précédents de ce document. Il s'agit sur la base d'un jeu d'informations de départ, d'identifier les informations qui ont été prises en compte/utilisées et les informations ignorées et d'en justifier la non-utilisation.

La prise de responsabilités sur les informations exploitées existe lorsqu'un écart est mis en évidence entre les informations d'entrée (écarts entre un levé topographique et un modèle tel que construit (TQC)).

En rétro-ingénierie, alors que l'on réutilise régulièrement des modèles TQC, plusieurs moyens sont utilisés pour fiabiliser la qualité des maquettes :

- Superposition de levés topographiques aux maquettes pour contrôler les écarts entre les deux ;
- Par le biais de la Réalité Augmentée dans l'industrie notamment. Cette approche n'est guère utilisable aujourd'hui pour les infrastructures linéaires du fait de limitations technologiques.

Ci-dessous sont partagés toute une série de questionnements sur la responsabilité juridique auxquels il n'est pas possible de porter une réponse objective faute de prise en compte précise de la démarche BIM dans la réglementation, de retours d'expérience et de jurisprudences :

- En cas de réutilisation d'une valeur source erronée, comment le prouver ?
- Comment limiter le préjudice pour tous ?
- Si le besoin de données est bien identifié et justifié et que le manque de moyens de la maîtrise d'ouvrage (financier ou délai) conduit à une connaissance partielle, quelle est la responsabilité de chacun des acteurs dans le niveau d'incertitude du modèle final ?
- Quel est le devoir de conseil pour le responsable de la prestation de rétro-ingénierie lorsqu'il détecte un objectif inatteignable (diminution du cas d'usage ou augmentation des moyens) ?
- Quelles assurances existent pour couvrir les responsabilités liées aux modèles numériques ?
- Qui devrait établir les tolérances et comment définir leurs ordres de grandeur ?
- Quelle responsabilité en cas de perte de données en cours de prestation ?

Cette étape ne concerne que le prestataire de rétro-ingénierie. Cette prestation débute à la valorisation de l'ensemble des informations entrantes pour produire son propre modèle numérique sur le périmètre de l'opération de rétro-ingénierie. Elle s'achève à la réception du livrable.

La livraison est effective à l'émission du procès-verbal de réception par le maître d'ouvrage.

La rétro-ingénierie, un processus finalement très cloisonné

La responsabilité du maintien des informations qu'elle contient doit être affectée à un acteur. Celle-ci peut être déléguée par exemple à l'exploitant ou externalisée. Les contrats mis alors en place comprennent l'engagement de maintien et d'accessibilité. Elle se positionne en dehors du processus de rétro-ingénierie.

Le schéma présente une analyse croisée du processus de circulation des données avec les responsabilités de chacun à chaque étape. Ce schéma est remis en Annexe 10. pour une meilleure lisibilité.

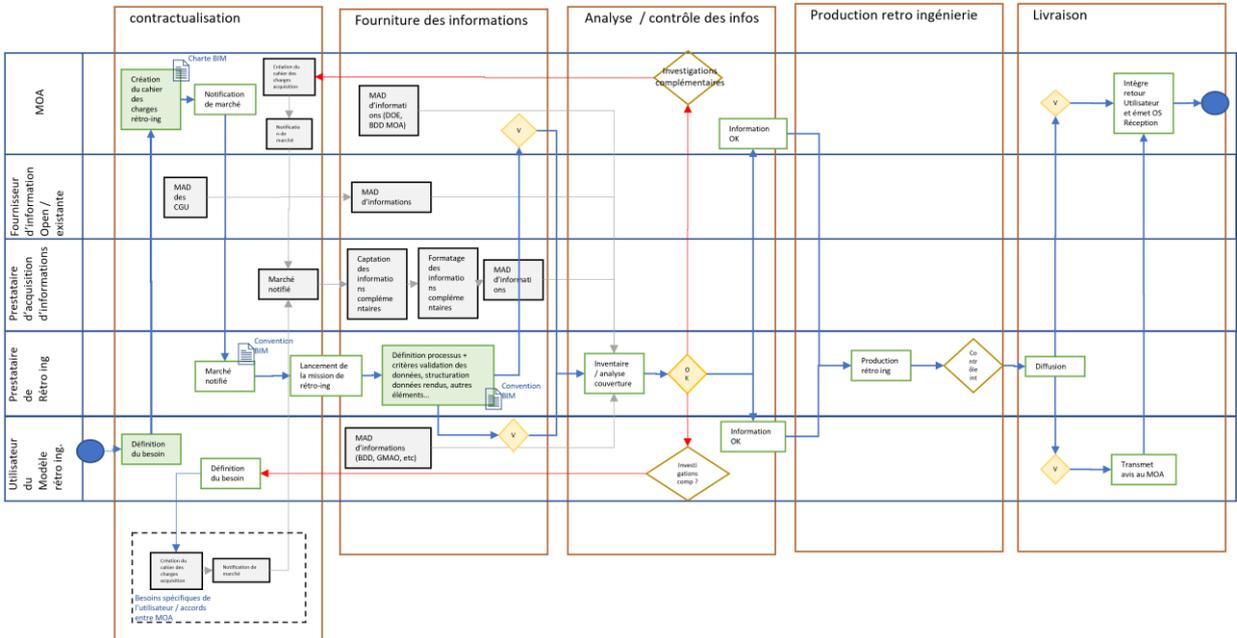


Fig 26. Représentation des étapes de définitions des responsabilités, en vert.

6.4 Analyse et pistes pour le traitement des limites de responsabilités dans les documents cadres

Synthèse des points critiques dans la chaîne des responsabilités en rétro-ingénierie

L'analyse croisée du processus de circulation des données avec les responsabilités de chacun, à chaque étape, jusqu'à la diffusion et validation des livrables met en avant quelques jalons critiques :

- La charte BIM avec la priorisation des objectifs ;
- La convention BIM soumise par le prestataire de rétro-ingénierie avec l'inventaire des données utiles et leurs critères d'acceptation soumis à la validation de la maîtrise d'ouvrage et des futurs utilisateurs ;
- Le cas échéant la définition par le prestataire de rétro-ingénierie des données complémentaires attendues avec communication à la maîtrise d'ouvrage et aux futurs utilisateurs ;
- Le renseignement du tableau d'analyse des données d'entrée ;
- La réception du livrable.

Principales recommandations

Dès lors que ces jalons critiques sont bien identifiés (cf. norme NF EN 19650-1³¹ §6 - Cycle de livraison de l'information), certaines recommandations sont applicables avec les outils déjà existants.

Il est fortement recommandé de prendre connaissance de la norme NF EN ISO 29481-1³². Cette norme fournit une méthodologie de spécification des informations attendues, entre autres, les conditions d'acceptabilité au moment de la livraison. L'annexe A, chapitre 2.4 est d'ailleurs consacrée à la rétro-ingénierie.

Une convention BIM unique par opération

La principale recommandation est de s'orienter vers une convention BIM unique pour tous les marchés liés à une même opération.

La convention BIM multi-acteurs (cités au chapitre 6.2) doit être partagée sur l'ensemble des marchés nécessaires (y compris pour l'acquisition de données complémentaires) pour la réalisation d'une même opération.

La convention BIM est actualisable. Elle est partagée et doit être citée comme pièce du marché pour l'ensemble des marchés contractualisés en lien direct ou indirect avec l'opération de rétro-ingénierie.

D'une manière générale, les responsabilités traitées contrat par contrat et les renseignements correspondants seront rassemblés dans un document identique pour tous et annexé aux contrats de tous les prestataires.

Un processus spécifique à l'intégration des données

La définition et l'intégration d'un processus spécifique aux données d'entrée sont recommandées sous forme de BPMN pour identifier les tâches de chacun et leurs enchaînements.

Ce processus reprend nécessairement le traitement de la donnée d'entrée (fourniture, analyse et valorisation) et les étapes de validation.

Le partage des informations et la collaboration dans le travail induisent un partage des modalités de fonctionnement et une collaboration dans ce fonctionnement. Ils doivent être définis tout au long du processus, tracés et traçables pour permettre l'identification des responsabilités liées à des dysfonctionnements du processus.

Encadrer ainsi le travail en BIM est de nature à le rendre plus efficace en permettant également de déterminer les responsabilités respectives des acteurs et, pour les prestataires, d'exercer le cas échéant leurs actions en garantie et leurs actions récursives.

Des niveaux de maturité variables peuvent impacter la mise en place de la démarche BIM. L'évaluation de cette maturité est recommandée afin de définir de façon optimale les rôles de chacun.

Dans cette répartition des tâches doivent figurer tout particulièrement toutes celles liées au processus de traitement des informations d'entrée (fourniture, analyse, validation) ainsi que les critères d'acceptation.

Des critères d'acceptation définis

Outre le processus de traitement des données d'entrée, les critères d'acceptation de celles-ci doivent également être définis précisément.

Ces critères sont liés aux objectifs des livrables BIM.

Il est essentiel de déterminer leur nature, leur contenu, mais aussi les utilisations futures envisagées (et notamment s'ils ont vocation à être transmis à des prestataires qui l'utiliseront comme base, outil de travail pour réaliser leurs propres

³¹ NF EN ISO 19650-1, *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 - Partie 1 : concepts et principes*, op. cit.

³² NF EN ISO 29481-1, *Modèles des informations de la construction - Protocole d'échange d'informations - Partie 1 : méthodologie et format*, Collections AFNOR, 2016.

Des travaux à poursuivre pour sécuriser les prestations de rétro-ingénierie

tâches). Le prestataire concerné sera en effet responsable d'un rendu répondant à la finalité décrite.

En plus des recommandations précédentes se basant sur les outils existants, les travaux conduits dans le cadre du présent groupe de travail (GT5) montrent aussi le besoin de continuer deux développements, à savoir :

- Le complément du cas d'usage 03 « Modélisation du site / données existantes » du Guide de convention BIM BuildingSMART France v2³³ avec les données rétro-modélisées dans le cadre d'une prestation de rétro-ingénierie ;
- L'enrichissement de la matrice de développement par un critère de précision d'implantation.

³³ buildingSMART France - Mediaconstruct - MINnD, *Comment rédiger une convention BIM ?*, op. cit.

7. RÉFÉRENCES

- Ammad Imane, Benning Pierre, Dony Anne, Douceron Thierry, Guizol Maud, Jacquet Jean-Pierre, Levent Anne-Laure, Moutaignac Renaud de, Negishi Koji et Ziyani Layella, *Impact Carbone des Données Numériques*, MINnDs2_GT0.5_impact_carbone_donnees_numeriques_032_2022 LC/22/MINNDS2/176-177-178-179-1800 - Livrable du PN MINnD Saison 2 - Thème de rattachement : Observatoire, 2023.
- Ayraud Sabine, Benning Pierre, Botrel Elisabeth, Bourcier Danièle, Ciribini Angelo, Cousin Vincent, Demile-camps Louis, Gillet Anne-Lise, Lefauconnier Morgan, Natchitz Emmanuel et Ravier Jean-Luc, *BIM : Aspects juridiques et contractuels*, MINnD_TH04_03_Aspects_juridiques_contractuels_BIM_023_2019, 2019.
- Baillat Valérie, Gillet Anne-Lise et Motary Christian, *BIM - Responsabilités et assurances*, MINnD_TH04_01_BIM-Responsabilités-Assurances_012_2018, 2016.
- Bayol William, Boudet Clément, Cadren Johann, Devys Emmanuel, Gautier Laurence, Le Roux Denis, Lehrer Benjamin, Rasoldier Nicolas, Thoury Coline, Vautrin Alexandre et Ziyani Layella, *GT5 Rétro-ingénierie - Données d'entrée, attentes, volumétrie*, MINnDs2_GT5_donnees_entree_attentes_volumetrie_030_2023 LC/21/MINNDS2/{100;101;102;103;105;106;107;108;109 } et LC/21/MINNDS2/{041;042;043;045;046;047;048;124}, 2023.
- Benning Pierre, Donzel Christian, Godart Xavier, Le Bris Bertrand, Loiselet Christelle, Natchitz Emmanuel, Page Jean-François, Rives Michel, Rospars Claude, Tournez Eric et Villié Marc, *GT2.2 - Incertitudes et Tolérances dans le domaine de la construction - Qualification et Recommandations*, MINnDs2_GT2.2_incertitudes_tolerances_qualification_recommandations_025_2022 LC/21/MINNDS2/028-029-030-032-099 & LC/22/MINNDS2/161-197, 2023.
- Benning Pierre, Donzel Christian, Godart Xavier, Le Bris Bertrand, Loiselet Christelle, Natchitz Emmanuel, Page Jean-François, Rives Michel, Rospars Claude, Tournez Eric et Villié Marc, *GT2.2 - Incertitudes et Tolérances dans le domaine de la construction - Enjeux et définitions*, MINnDs2_GT2.2_incertitudes_tolerances_enjeux_definitions_024_2022 LC/21/MINNDS2/028-029-030-032-099-145 & LC/22/MINNDS2/161, 2022.
- Bidault Laurent et Hassine Candice, *Guide d'une opération de construction publique en BIM*, Editions Le Moniteur, 2021.
- BIM Forum, *Level of Development Specification*, <https://bimforum.net/LOD>, consulté le 16 mai 2023.
- buildingSMART France - Mediaconstruct - MINnD, *Comment rédiger une convention BIM ?*, 2018.
- FD X50-117, *Management de projet - Gestion du risque - Management des risques d'un projet*, Collections AFNOR, 2003.
- Journal officiel de la République française, *Arrêté du 30 mars 2021 portant approbation du cahier des clauses administratives générales des marchés publics de travaux*, 2021.
- Journal officiel de la République française, *Arrêté du 30 mars 2021 portant approbation du cahier des clauses administratives générales des marchés publics de maîtrise d'oeuvre*, 2021.
- Journal officiel de l'Union européenne, *Directive 2007/2/CE du Parlement Européen et du Conseil du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (INSPIRE)*, 2019.
- Journal officiel de l'Union européenne, *Directive 2014/24/UE du Parlement Européen et du Conseil du 26 février 2014 sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive 2004/18/CE*, 2014.
- Lefauconnier Morgan et Merienne Christophe, *Identification des enjeux juridiques liés à l'utilisation du BIM - Point sur la réglementation applicable au BIM - Explication des droits de propriété*, R/16/MINND/009 LC/15/MINND/62, 2016.
- Medi@construct, *Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM*, 2016.
- NF EN 17412-1, *Modélisation des informations de la construction - Niveau du besoin d'information - Partie 1 : concepts et principes*, Collections AFNOR, 2020.
- NF EN IEC 62402, *Gestion de l'obsolescence*, Collections AFNOR, 2019.
- NF EN ISO 9001, *Systèmes de management de la qualité - Exigences*, Collections AFNOR, 2015.

- NF EN ISO 19650-1, *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 - Partie 1 : concepts et principes*, Collections AFNOR, 2018.
- NF EN ISO 29481-1, *Modèles des informations de la construction - Protocole d'échange d'informations - Partie 1 : méthodologie et format*, Collections AFNOR, 2016.
- NF ISO 31000, *Management du risque - Lignes directrices*, Collections AFNOR, 2018.
- Pican Xavier, *Mission « droit du numérique & bâtiment »*, Rapport au Président du Conseil Supérieur de la Construction et de l'Efficacité Énergétique et au Président du Plan Transition Numérique dans le bâtiment, 2016.
- Plan Transition Numérique dans le Bâtiment - Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, *BIM et maquette numérique - Guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage*, 2016.
- Richard David, *Nouveaux CCAG : une reconnaissance légale du BIM à la portée non négligeable*, Lex Terra Avocat, 2021, <https://www.lexterraavocat.fr/nouveaux-ccag-bim.html> (consulté le 22 mai 2023).

8. TABLE DES MATIÈRES

I. RÉSUMÉ / ABSTRACT	2
Résumé	2
Abstract	2
Abréviations	2
Mots clés principaux (Fra).....	2
Mots clés spécifiques au livrable (Fra)	2
Main key words (Eng).....	2
Deliverable key words (Eng)	2
2. INTRODUCTION	3
Repartir de l'usage	3
Accès à l'information.....	3
Accès à l'ouvrage	3
Hétérogénéité des informations des modèles	3
2.1 La rétro-ingénierie en quelques mots	3
Rappel de la définition de la rétro-ingénierie	3
Une temporalité d'accès à l'information discontinue, différente de la temporalité de la production BIM d'un projet nouveau	3
Processus de	3
rétro-ingénierie	3
Graphique support pour compréhension du processus de rétro-ingénierie.....	5
2.2 Lien avec les autres GT de MINnD.....	5
Incertitudes et tolérances traitées dans le GT2.2, GT avec le plus d'interfaces.....	5
GT 3.1 et GT 3.2&3.3 – Obsolescence et fiabilité de l'information	5
Liens sur les responsabilités	5
Modélisation des objets, liens avec tous les GT1.	5
3. CARACTÉRISATION DES INFORMATIONS ENTRANTES.....	6
3.1 Propriétés d'une information.....	6
Caractérisation d'informations	6
Objectif / Schéma directeur.....	6
Contenu / Définition	6
3.2 Origine des données	7
Origine de l'information	7
Tableau des types d'informations	8
Plus de détails sur les sources possibles	8
3.3 Niveau de développement	8
Niveau de développement	8
NF EN 17412-1, un cadre pour la formalisation du besoin.....	8
Vigilance contractuelle.....	9
Convention BIM, document clé	9
Contenu / Définition	9
Niveaux de représentation.....	9
Niveaux d'information	10
Niveaux de documentation	10
Niveaux de complétude	10
Niveaux de coordination	10
Niveau d'information versus niveau d'intelligibilité.....	11
3.4 Date de production.....	12
Temporalité de l'information, une notion indispensable.....	12
De l'ancienneté des informations	12
Du phasage des projets ayant conduit à la production des informations.....	12

3.5	Exemples dans le contexte Ouvrage d'Art / Chaussée	12
	Modélisation à partir de documents techniques	12
	Contexte de modélisation à partir de nuages de points et confrontation avec le réel.	13
4.	QUALIFICATION DES INCERTITUDES	14
4.1	Définition retenue	14
	QUALIFICATION DES INCERTITUDES	14
	Objectif / Schéma directeur	14
	Contenu / Définition	14
4.2	Les incertitudes liées aux informations	15
	Dé-risquer le produit final	15
	Le contexte du projet, pour mieux identifier les facteurs d'incertitude	15
	Des facteurs d'incertitude multiples au cours du processus de rétro-ingénierie	15
	La maîtrise absolue de l'incertitude : une illusion	16
	L'humain, un facteur d'incertitude	17
	Impact	17
	Mesure de l'incertitude	17
	Tolérances vis-à-vis de l'incertitude non qualifiable	18
	Contrôle	18
	L'incertitude liée à la méthodologie et/ou la technologie	18
	Impact	18
	Exemple	18
	Mesure de l'incertitude	18
	Tolérances de l'incertitude	18
	Contrôle	18
	Incertitude liée à l'obsolescence de l'information	18
	Contenu / Définition	19
	Impact	20
	Exemple	20
	Critère de l'incertitude	20
	Mesure de l'incertitude	20
	Tolérances de l'incertitude	20
	Contrôle	20
4.3	La retranscription de l'incertitude	20
	Définition de l'incertitude dans le risque selon la norme NF ISO 31000	20
	Selon la norme ISO 9001:2015 ; risque ou opportunité	21
	Renseigner l'information dans les modèles issus du processus	21
4.4	Exemples dans le contexte Ouvrage d'Art / Chaussée	21
	Des exemples pour expliciter les concepts	21
	Exemple modélisation à partir d'un plan : obsolescence et facteur humain	21
	Cas d'une modélisation à partir d'un nuage de points	22
5.	CONTRÔLE DE LA QUALITÉ ET DE L'ADÉQUATION DES INFORMATIONS D'ENTRÉE	23
5.1	Les objectifs du contrôle	23
	Un contrôle sous plusieurs angles	23
	Objectif : s'assurer de la conformité aux exigences	23
	Contenu / Définition	23
	Workflow	23
5.2	Évaluation des informations entrantes	24
	Objectifs	24
	Méthodologie	24
5.3	Analyses des incertitudes	24
	Analyse des incertitudes	24
	Objectif, apporter de la confiance dans les modèles	24
	Humain	24

	Méthodologie.....	24
	Obsolescence	25
	Contexte.....	25
	Les nouvelles technologies, nouvel outil de contrôle ?.....	25
5.4	Adéquation au besoin	26
	Cohérence de l'incertitude finale avec les exigences	26
5.5	Matrice d'analyse des informations	26
	Matrice d'analyse des informations.....	26
6.	INTÉGRATION DE LA CHAÎNE DE RESPONSABILITÉS.....	28
6.1	En quoi consiste l'intégration de la chaîne ?	28
	Intégration de la chaîne de responsabilités.....	28
	Chapitre à but exploratoire, non applicable dans les contrats en l'état	28
	Éléments constitutifs de la chaîne de responsabilité	28
	Propriété de la donnée, transition numérique et transferts de données au sein de la chaîne de responsabilité	28
	Workflow.....	29
6.2	Bilan et évolutions juridiques depuis la Saison 1 et liens avec les autres travaux de la Saison 2	30
	Rappel des travaux de la saison 1	30
	Responsabilités et assurances	30
	Identification des enjeux juridiques liés à l'utilisation du BIM - Point sur la réglementation applicable au BIM	30
	BIM : Aspects juridiques et contractuels.....	31
	Les principales évolutions depuis 2016	31
	CCAG travaux et CCAG MOE en vigueur au 01 avril 2021	32
	La donnée au cœur des processus BIM	32
	La donnée ouverte en France	33
	La donnée propriétaire... ..	33
	...Appliquée à la rétro-ingénierie	33
	Liens avec GT2 (DOE numérique)	34
	Interrogations communes sur l'initialisation du patrimoine numérique	34
6.3	Questionnements et présentation simplifiée de la chaîne des responsabilités.....	35
	Rétro-ingénierie et chaîne de responsabilités	35
	Des acteurs impliqués multiples, pas toujours identifiés	35
	Les étapes du processus, les points de transferts de la responsabilité.....	36
	Contractualisation, un élément clé	36
	Fourniture des informations	37
	Analyse et contrôle des informations : des étapes indispensables. Quels questionnements faut-il suivre ?	37
	Production du modèle BIM de rétro-ingénierie	37
	Livraison du modèle de rétro-ingénierie.....	37
	La rétro-ingénierie, un processus finalement très cloisonné	38
6.4	Analyse et pistes pour le traitement des limites de responsabilités dans les documents cadres.....	38
	Synthèse des points critiques dans la chaîne des responsabilités en rétro-ingénierie	38
	Principales recommandations.....	39
	Une convention BIM unique par opération	39
	Un processus spécifique à l'intégration des données	39
	Des critères d'acceptation définis.....	39
	Des travaux à poursuivre pour sécuriser les prestations de rétro-ingénierie.....	40
7.	RÉFÉRENCES	41
8.	TABLE DES MATIÈRES	43
9.	SOMMAIRE DES ILLUSTRATIONS	46
10.	ANNEXES.....	47
10.1	Matrice d'analyse des informations	47
10.2	Représentation des étapes de définitions des responsabilités.....	48

9. SOMMAIRE DES ILLUSTRATIONS

Fig 1. Processus de rétro-ingénierie	4
Fig 2. Processus de rétro-ingénierie – Caractérisation de l’entrant	7
Fig 3. Illustration des différentes sources d’information – Source : Egis	8
Fig 4. Extrait de la norme I7412-1 – niveau du besoin d’information	8
Fig 5. Niveaux de représentation – Source Arcadis	9
Fig 6. Niveaux d’information– Source Arcadis	10
Fig 7. Niveaux de documentation– Source Arcadis	10
Fig 8. Évolution du degré de fiabilisation en fonction de l’information et du niveau de détail – source : Egis	11
Fig 9. Viaduc autoroutier – source : Arcadis	13
Fig 10. Illustration d’incertitudes liées au mode de modélisation et à la source d’information – Pont Rail de la gare de Beaulieu-sur-Mer ayant fait l’objet d’un processus de rétro-ingénierie	13
Fig 11. Position de l’étape d’évaluation des incertitudes de l’information	14
Fig 12. Niveaux d’incertitude et facteurs agissant sur ce niveau. Chaque facteur permet d’agir pour converger vers la cible, au centre.	16
Fig 13. Courbe de production d’informations dans le temps et évolution de leur obsolescence, position des jalons de clé dans la gestion de l’obsolescence.	19
Fig 14. Quantité d’information produite pour contrecarrer l’obsolescence de l’information	19
Fig 15. Apports de la stratégie d’obsolescence en complément de la Fig 13	20
Fig 16. Représentation du cumul des incertitudes dans le processus de rétro-ingénierie.	21
Fig 17. Illustration et localisation des différents éléments d’incertitude	22
Fig 18. Étape de l’analyse de risque par rapport aux besoins, positionné dans le processus de rétro-ingénierie	23
Fig 19. Analyse des distances entre un modèle 3D issu d’un processus de rétro-ingénierie et un nuage de points. Vert = écart faible ; Rouge = écart fort. Source : Setec, Vinci Autoroutes	25
Fig 20. Extension de la matrice d’analyse du livrable 2 du GT5.	26
Fig 21. Matrice d’analyse proposée dans le second livrable de notre groupe de travail, évaluation des informations vis-à-vis des exigences.	27
Fig 22. Matrice d’analyse proposée dans le second livrable de notre groupe de travail, adéquation de la qualité de l’information avec les besoins.	27
Fig 23. Positionnement de la responsabilité dans le processus de rétro-ingénierie.	29
Fig 24. DOE numérique – MINnD S2 – GT2	34
Fig 25. Illustration de problématiques et de responsabilités lors de la constitution d’un DOE numérique – MINnD S2 - GT2	34
Fig 26. Représentation des étapes de définitions des responsabilités, en vert.	38

10. ANNEXES

10.1 Matrice d'analyse des informations

RAPPEL DES ATTENTES / EXIGENCES (WP2)										EVALUATION DE LA QUALITÉ DES INFORMATIONS VIS-A-VIS DES EXIGENCES					ADEQUATION ENTRE LE BESOIN ET LA QUALITÉ DES INFORMATIONS					
Contexte	Usage/Besoin	Exemple	Application de la Retro-Ingénierie	Documentation / Informations fournies	Niveau d'information attendu	Précision attendue	Géométrie		Exemples de critères d'évaluation des informations					Analyses des Incertitudes	Adéquation au besoin	Informations entrantes suffisantes pour rétroingénierie ?				
							Référentiel	Extrado Intradoss	Couverture Spatiale et Implantation de l'information par rapport au projet			Niveau de développement suffisant								
							Planimétrique	Altimétrique	Détail	Détail	Périmètre	Précision	Référentiel	Niveau de d'information	Niveau de détail et de représentation	Temporalité (date de modélisation de la donnée)	Incertitudes	Niveau de fiabilité / exigences		
<u>Exemple 1</u>	Technique Communication	Réseau existant à proximité d'un OA	Retro-ingénierie de l'ouvrage et des ouvrages en interfaces (pré-synthèse)	- DDE : plans de l'ouvrage - E&M : historique des interventions - Photographie	- Nom ouvrage - Type d'ouvrage - Propriétaire - Axe de référence - PK - Sens	±/- 5cm	RGF93.CC45	NGF 69	Simplifié (LOD200)	S/O	Les informations couvrent tout l'ouvrage et son environnement	Les plans DOE DWG sont récents et réalisés par un géomètre certifiés (Conforme aux attentes de ±/- 5cm en planimétrie et en altimétrie)	Les plans DOE DWG sont géoréférencés dans le système souhaité (Respect du système de coordonnées de référence et de la projection demandés)	Certaines informations sont manquantes : - Absence du PK - Absence du gestionnaire	Plan topographique et réseaux enterrés 3D fidèle, contient toutes les informations nécessaires (diamètre, profondeur, type du réseau, etc.)	Donnée actualisée lors de l'opération d'acquisition	Incertitudes non liées à la données : - Evolution du trafic (risque contextuel) - Evolution hydro - Evolution réglementaire	Information fiables et en adéquation avec les exigences et incertitudes faibles : OK pour Retroingénierie, reste à préciser le PK et gestionnaire	Conforme au besoin et utilisable malgré quelques informations manquantes	✓
<u>Exemple 2</u>	Etudes EXE	Reprise des couléés d'un OA existant	Retro-ingénierie de l'ouvrage et des ouvrages en interfaces (pré-synthèse)	- DDE : plans de l'ouvrage - E&M : historique des interventions	- Nom ouvrage - Type d'ouvrage - Propriétaire - Axe de référence - PK - Sens	±/- 2cm	LOCAL	LOCAL	Détaillé (LOD300)	Détaillé (LOD300)	Les informations couvrent surtout les couléés et une partie du tablier	Les plans DOE seuls ne permettront pas d'avoir un modèle précis à ±/- 2cm (Décalage évident par rapport aux attentes en planimétrie)	Plans DOE PDF non géoréférencés mais travail en local demandé	Toutes les informations nécessaires sont disponibles (Nom et Type d'ouvrage, Propriétaire, Axe de référence, PK, Sens).	Représentation détaillée : Vue d'ensemble et vue des détails disponibles	Plans DOE datant de la mise en service (04/02/2010)	Incertitudes non liées à la données : - Evolution du trafic (risque contextuel) - Evolution hydro - Evolution réglementaire (par exemple stabilité au feu des OA) * Incertitudes liées à la donnée : - Ouvrage partiellement modélisé - Précision incertaine	Niveau de précision des entrants trop faible et non adéquat par rapport au niveau d'exigences - PAS OK pour Retroingénierie	Précision insuffisante pour le besoin défini - non-utilisable	✗
<u>Exemple 3</u>	Etudes AVP	Réseau existant à proximité d'un OA	Retro-ingénierie de l'ouvrage et des ouvrages en interfaces (pré-synthèse)	- DDE : plans de l'ouvrage - E&M : historique des interventions	- Nom ouvrage - Type d'ouvrage - Propriétaire - Axe de référence - PK - Sens	±/- 5cm	RGF93.Lambe rit83	NGF 69	Détaillé (LOD300)	S/O	Les informations couvrent tout l'ouvrage et son environnement	Les plans DOE DWG sont récents et réalisés par un géomètre certifiés (Conforme aux attentes de ±/- 5cm en planimétrie et en altimétrie)	Les plans DOE DWG sont géoréférencés dans le système souhaité (Respect du système de coordonnées de référence et de la projection demandés)	Toutes les informations nécessaires sont disponibles (Nom et Type d'ouvrage, Propriétaire, Axe de référence, PK, Sens).	Plan topographique et réseaux enterrés 3D fidèle, contient toutes les informations nécessaires (diamètre, profondeur, type du réseau, etc.)	Donnée actualisée lors de l'opération d'acquisition	Incertitudes non liées à la données : - Evolution du trafic (risque contextuel) - Evolution hydro - Evolution réglementaire	Information fiables et en adéquation avec les exigences et incertitudes faibles : OK pour Retroingénierie	Complètement conforme au besoin et utilisable	✓
<u>Utilisation du Tableau</u>	Cette partie du tableau est un résumé des attentes / exigences qui ont été définies pour ce projet de Retroingénierie (pour plus de détails sur l'expression des exigences se reporter au WP2)										Cette partie du tableau est une synthèse de l'évaluation des informations disponibles pour le projet de					Cette partie du tableau sert à vérifier l'adéquation entre les exigences définies et la qualité constatée des informations. L'objectif est de déterminer si les informations sont utilisables ou non dans le cadre du projet de rétroingénierie défini.				
										Légende :										
										<div style="display: flex; gap: 5px;"> <div style="width: 15px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black;"></div> OK <div style="width: 15px; height: 10px; background-color: #FFDAB9; border: 1px solid black;"></div> Pas parfait mais <div style="width: 15px; height: 10px; background-color: #FF6347; border: 1px solid black;"></div> Donnée non recevable </div>										

10.2 Représentation des étapes de définitions des responsabilités

