



Modélisation des INformations INteropérables  
pour les INfrastructures Durables

## GT6.3 - Revue de projet

### Auteurs / Organismes

Cara BENISSAN (Setec)  
Vincent COUSIN ( Processus et Innovation)  
Hervé HALBOUT (HALBOUT Consultants)  
Éric TOURNEZ (Bouygues Construction)

### Relectrice / Organisme

Régine TEULIER (Cognilog)

Thème de rattachement : CDE-Collaboration

MINnDs2\_GT6.3\_revue\_projet\_036\_2023  
LC/20/MINNDS2/007-009-011-012-013  
Mai 2023

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

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

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

# I. RÉSUMÉ / ABSTRACT

## Résumé

La revue numérisée de projet est un processus fondateur de toute démarche en ingénierie de systèmes complexes, comme le sont les ouvrages d'infrastructures faisant appel à la numérisation des tâches. C'est en effet le lieu privilégié du constat des progrès dans la convergence des acteurs et l'intégration des technologies qui peuvent seules garantir la performance des ouvrages et la satisfaction de toutes les exigences.

Mais, comme pour toute activité dans un environnement complexe, définir ou caractériser cette activité et l'ensemble de ses processus, ne peut être fait que par un processus itératif entre développements théoriques et expérimentations, pour un ajustement fin de ses tâches et procédures. Le traitement différencié entre détails qui peuvent vite devenir fastidieux et approfondissements indispensables pour obtenir le résultat souhaité est assez difficile.

Le travail du groupe a ainsi pu porter sur une première itération autour d'une expérimentation sur un projet proche de son terme de réalisation, à savoir le Rond-Point-des-Lavandes (RDPL) de l'Aéroport Aix-Marseille-Provence (AMP). Des difficultés liées aux restrictions opératoires des marchés publics n'ont pu être levées pour le lancement d'un autre projet, à une phase très antérieure, qui aurait pu mettre en place une expérimentation plus riche encore d'enseignements.

La vision recueillie auprès d'AMP maître d'ouvrage dans sa propre démarche BIM a permis de confirmer la vision selon laquelle les besoins d'un Maître d'Ouvrage d'infrastructures doivent se réfléchir dans une logique de patrimoine numérique de long terme et non pas seulement de la numérisation d'un ouvrage. C'est là un enseignement qui a été largement exploité, au sein de MINnD, par le GT3.1 PLM.

Les enseignements et réflexions développés durant ce travail en collaboration avec les équipes du projet RDPL, alors en phase des travaux préalables aux opérations de réception, ont d'ailleurs nourri également les réflexions de ce GT 2.1 sur la Réception en BIM. Ils en constituent le corpus expérimental.

Le groupe de travail a plus généralement pu confirmer les résultats et hypothèses des travaux précédents comme quoi l'ingénierie des exigences devait être le fondement de tout processus de revue numérique et que les documents de réception devaient faire appel à l'ensemble des opérations de suivi et de qualité d'un projet.

## Abstract

The digitised project review is a founding process of any approach to the engineering of complex systems, such as infrastructure works, which require the digitisation of tasks. It is indeed the privileged place for recording progress in the convergence of actors and the integration of technologies, which alone can guarantee the performance of works and the satisfaction of all requirements.

However, like any operation in a complex environment, it can only be perfected by an iterative process between theoretical developments and experiments, for a fine adjustment of its tasks and procedures, between details that quickly become tedious and the in-depth studies that are essential to obtain the desired result.

The group was able to work on a first iteration around an experimentation on a project close to completion, namely the Rond-Point-des-Lavandes at Aix-Marseille Airport. Unfortunately, difficulties linked to the legal restrictions of public contracts could not be overcome for the launch of a second experimentation on another project at a very early stage. Indeed, it would have raised a serious conflict of interest.

Nevertheless, the vision of the Employer Aix-Marseille-Provence Airport in their BIM strategy could be analysed in terms of a strategy for a complete legacy of projects and not just for one project and that it was really an assets' digitalization similar to what can be achieved through a PLM (Product Life Management) approach. This proved useful in the framework of the working group 3.1 PLM of MINnD.

---

The works on this first experimentation at RDPL proved also useful for the working group 2.1 of MINnD on project delivery in BIM. It was used as their own experiment to check on their own findings.

Moreover, the group could confirm the validity of some results of the previous works: 1/ the requirements engineering is the basis of project's review and 2/ delivery with BIM must be based on tasks to be performed during the complete project implementation and not wait just for the works completion.

---

**Mots clés principaux (Fra)**

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

---

**Mots clés spécifiques au livrable (Fra)**

Revue de projet ; Collaboration ; Réception ; Décision ;

---

**Main key words (Eng)**

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

---

**Deliverable key words (Eng)**

Project review; Collaboration; Handover; Decision;

# Sommaire

## 2. TABLE DES MATIÈRES

<b>I. RÉSUMÉ / ABSTRACT</b> .....	<b>1</b>
Résumé .....	1
Abstract .....	1
Mots clés principaux (Fra).....	2
Mots clés spécifiques au livrable (Fra) .....	2
Main key words (Eng).....	2
Deliverable key words (Eng) .....	2
<b>3. PRÉAMBULE</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1 Retour sur MINnD Saison I</b> .....	<b>4</b>
La revue de projet .....	4
<b>3.2 Glossaire</b> .....	<b>4</b>
Sigles utilisés .....	4
<b>4. LA REVUE DE PROJET EN EXPÉRIMENTATION</b> .....	<b>5</b>
<b>4.1 Les objectifs de la revue de projet</b> .....	<b>5</b>
Objectifs du Groupe de Travail 6-3 .....	5
<b>4.2 Expérimentation sur le projet du « Rond-point des lavandes » - Aéroport de Marseille Provence</b> .....	<b>5</b>
Contexte.....	5
Visite du chantier .....	6
Visite de site .....	6
Réunion d'échanges avec les différents acteurs du projet .....	6
Présentation de la démarche BIM d'AMP .....	7
REX AMP sur la démarche BIM lors du projet RPDL .....	8
Tour de table REX des différents acteurs du projet.....	9
Débriefing de la réunion .....	10
<b>4.3 Photos illustrant le chantier RPDL</b> .....	<b>11</b>
Photos prises sur le chantier.....	11
<b>5. REVUE NUMÉRISÉE DE PROJET ET RÉCEPTION EN BIM</b> .....	<b>12</b>
Arborescence d'architecture et d'exigences à la base du processus de revue de projet .....	12
L'arborescence du système pour faire ou système-projet.....	17
Nouvelle expérimentation .....	19
<b>6. CONCLUSION</b> .....	<b>21</b>
Une tentative inaboutie.....	21
<b>7. ANNEXE</b> .....	<b>23</b>

## 3. PRÉAMBULE

### 3.1 Retour sur MINnD Saison I

#### La revue de projet

Le livrable rédigé par le groupe de travail « Revue de projet » lors de la Saison 1 du Projet National MINnD, a proposé des définitions des concepts de la revue de projet, que ce soit au niveau pour le « projet » lui-même (dont le déroulement est jalonné de revues de projet) que pour chaque « revue de projet » à conduire.

#### Définition

Ainsi le groupe de travail a proposé une définition de la revue de projet à conduire comme un « examen systématique et critique, entrepris tout au long du cycle de vie d'un projet de construction, pour vérifier la pertinence, l'adéquation et l'efficacité des résultats des activités du projet par rapport à ses objectifs. Il s'agit d'une étape permettant la prise de décision et la validation des éléments du projet. » Pour chaque étape, « la revue de projet a pour but d'aider le responsable du projet et les principaux intervenants (internes et/ou externes au projet) à :

- évaluer la capacité d'un projet à satisfaire aux exigences du client, la conformité aux besoins, le respect de la qualité, des délais et des coûts,
- vérifier la cohérence technique (données et contraintes),
- statuer sur la validité des éléments techniques par rapport aux prévisions et exigences contractuelles,
- identifier les problèmes et proposer des solutions,
- permettre d'engager des actions correctives ou préventives, en cas de dérives ou d'insuffisances,
- vérifier la conformité de l'étude, puis de la réalisation avec le contrat,
- matérialiser le passage à l'étape suivante,
- décider de franchir le jalon correspondant. »

Un état des lieux de la revue de projet, un état de l'art dans l'industrie, ainsi que les aspects réglementaires et les bonnes/mauvaises pratiques ont également été traités par le groupe de travail.

#### Guide et expérimentation

Le groupe de travail a également produit un « Guide de la revue numérique de projet d'infrastructures » et une première expérimentation portant sur une « Étude de visibilité depuis une tour de contrôle d'aéroport ».

### 3.2 Glossaire

#### Sigles utilisés

<b>AMP</b>	Aéroport de Marseille Provence
<b>BCF</b>	BIM Collaboration Format
<b>BYTP</b>	Bouygues Travaux Publics
<b>CSTB</b>	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
<b>RPDL</b>	Rond-Point Des Lavandes
<b>RA</b>	Réalité Augmentée

## 4. LA REVUE DE PROJET EN EXPÉRIMENTATION

### 4.1 Les objectifs de la revue de projet

#### Objectifs du Groupe de Travail 6-3

Un projet d'infrastructure ne peut être accepté que s'il satisfait toutes les exigences définies. L'outil « revue de projet » est un outil-clef, matérialisant la convergence des acteurs et l'intégration des technologies numériques, au travers de la satisfaction progressive de toutes les exigences.

À l'issue de la Saison 1 de MINnD, les questions à approfondir dans le cadre des travaux du groupe de travail sur la revue de projet sont les suivantes :

- Quel est le bon processus de gestion/résolution de problèmes soulevés pendant le projet ?
- Quels sont les outils permettant un exercice fluide des revues de projets numérisées ?
- Comment permettre la satisfaction progressive des exigences opérationnelles, fonctionnelles et organiques durant l'avancement du projet, que ce soit en conception ou en construction ?
- Comment le BIM peut-il être le support des revues de projet, en apportant la connaissance nécessaire et suffisante du projet dans ces revues ?
- Comment définir le bon niveau d'information et de modélisation de l'information, selon l'ordre du jour de ces revues ?

Ces questions se posent, quel que soit le niveau stratégique de la revue de projet et donc également pour des revues à plus courte portée temporelle, comme les réunions de chantier. Dans ce cadre, il convient de prendre en compte les besoins opérationnels, les exigences fonctionnelles et organiques des systèmes à faire (l'ouvrage) et pour faire (l'organisation du projet et non l'ouvrage lui-même).

Il faut alors spécifier les fonctionnalités attendues des outils à développer : format BCF, fiches, tableaux, ECD (Environnement Commun de Données), indicateurs de suivi...

L'étude fera une large place à l'expérimentation, autour de deux projets, visant à tester les fonctionnalités nécessaires, qui auront été spécifiées au cours des réflexions menées en parallèle.

### 4.2 Expérimentation sur le projet du « Rond-point des lavandes » - Aéroport de Marseille Provence

#### Contexte

L'expérimentation a été conduite en collaboration avec le groupe de travail GT2.1 sur la « Réception des projets en BIM ». Elle a été implémentée sur un projet d'infrastructure en cours d'achèvement qui a été suivi avec un usage important du BIM. Il s'agit du projet du Rond-Point des Lavandes (RPDL) relatif à la modification du rond-point d'accès à l'Aéroport Marseille Provence.

Le Maître d'ouvrage Aéroport Marseille Provence (AMP), a donné son accord, tout comme les autres partenaires du projet pour en partager les résultats. Les partenaires du projet et le Maître d'ouvrage, souhaitent explorer les potentialités d'une réception des travaux basée sur des outils BIM, dans une volonté partagée de progresser.

Les outils utilisés ont été : Autocad pour les maquettes d'ouvrages, Navisworks pour l'intégration des maquettes d'ouvrages et de réseaux, ainsi que DALUX et sa solution de réalité augmentée pour le suivi des validations et de la qualité et TwinMotion pour la réalisation de parcours virtuels. Pour ce qui est de la visualisation, Ebebim du

CSTB, BIM Vision et Zoom de BIM Collab ont été testés. KROQI était le logiciel utilisé en tant que plateforme de partage de documents et de maquettes numériques.

Le projet en est alors à la phase des derniers travaux, avant de passer aux opérations préalables à la réception.

### Visite du chantier

- Date : 16/01/2020
- Lieu : Rond-Point des Lavandes donnant accès à l'Aéroport de Marseille Provence (AMP)
- Déroulé de la journée :
  - Matinée : discussions avec l'équipe BIM projet (Bouygues Travaux Publics, Manon Duchesne et Atlante Bindner) et visite de site (cf. photos en Annexe 1).
  - Après-midi : réunion avec l'ensemble des acteurs impliqués dans la démarche BIM du projet, y compris le client AMP (Aéroport Marseille Provence) et EGIS partenaire de BYTP pour la maîtrise d'œuvre dans ce marché en conception et réalisation.

### Visite de site

#### Points marquants

Nous pouvons tester en temps réel la solution de RA (Réalité Augmentée) de DALUX qui permet de superposer la vision in situ des ouvrages et les plans : elle semble prometteuse, mais il reste quelques incertitudes de calage en altitude à gérer (niveaux à définir sur la maquette). Dalux en mode RA a en effet besoin d'un plan de calage et d'éléments différenciant pour se repérer en extérieur, puisque ce module est initialement pensé pour une utilisation à l'intérieur d'un bâtiment. Cela fonctionne aussi (moyennant des ajustements toujours) dans la trémie d'accès au tunnel souterrain de ce rond-point : à cet endroit, le souci est d'avoir un point de repère précis, d'autant plus que les pieux sécants dont est constituée la paroi des tunnels et trémies se ressemblent tous.

#### Usages du BIM

Les outils BIM utilisés ont servi pour des études de visibilité des usagers de la route sur le projet. Celles-ci ont conduit à changer ou déplacer quelques grands panneaux d'affichage publicitaire (type JC Decaux). Ils ont aussi servi à répondre à des demandes de visualisation photo-réaliste (réalisées avec le logiciel Twinmotion) pour la partie extérieure et pour la signalétique lumineuse à l'intérieur de la trémie (réalisation d'un dégradé de couleurs à l'effigie du logo d'AMP).

Un lien entre les objets de la maquette, les fiches de suivi développées sous DALUX et leur implantation sur le chantier a été fait, puis entretenu au fil de l'avancée du chantier par le BIM Coordinateur –M. Atlante Bindner). Il est indispensable à une navigation intelligente et riche, entre informations de définitions ou de suivi d'une part et objets et leur représentation dans la maquette numérique d'autre part.

Quelques remarques et questions sont posées relativement au suivi de certains défauts de réalisation : fuites le long des pieux / décoffrage inesthétique, etc.

### Réunion d'échanges avec les différents acteurs du projet

Aéroport Marseille Provence (AMP)	
GRAS Patrick	Directeur Technique
MICHEL Didier	Chef du département Travaux Neufs
JACQUET Damien	BIM Manager
Assistant MOA	
VINSON Philippe	
EGCEM (BE Exe)	
GEA Stéphane	
COLAS	
CIRERA Hervé	
EGIS	

GUILLEMIN Stéphane	
STOA (paysagiste)	
TERRY Frédéric	
<b>Bouygues Travaux Publics</b> (mandataire)	
BEAUDON Pauline	Responsable Travaux
BINDNER Atlante	Coordinateur BIM sur chantier
DUCHESNE Manon	BIM Manager BYTP - RF
<b>Projet National MINnD</b>	
COUSIN Vincent	
BENISSAN Cara	Ingénieure d'études Département Infrastructures
TOURNEZ Eric	Responsable déploiement BIM BYTP

## Présentation de la démarche BIM d'AMP

### Évolution d'AMP vers le BIM

AMP souhaite faire évoluer ses démarches antérieures et a fait le choix de se tourner vers le BIM en visant la transformation digitale du management de son patrimoine industriel. AMP peut alors constater que le BIM est facteur :

- de bouleversement de ses processus internes,
- d'harmonisation de sa démarche patrimoniale, aussi bien pour les infrastructures que pour les bâtiments,
- de réflexion globale sur tous les périmètres des concessions de l'AMP (i.e. y compris hôtels ou autres locations) avec des niveaux de détail adaptés selon les cas,
- de gestion du patrimoine avec une documentation technique associée à la Maquette Numérique.

Dans une démarche construite et progressive, AMP a lancé des marchés de relevés et de modélisation infrastructures et bâtiments, avec l'intention de prendre le terminal 2 comme modèle (octobre 2019).

AMP a aussi lancé un diagnostic de ses propres usages BIM (lancé par la DSI), afin de proposer un fonctionnement et de nouveaux processus optimisés. Ces processus, allieraient GMAO et gestion des informations de la Maquette Numérique.

### Codification des objets

Un premier point important est d'avoir codifié tous les objets avec une approche système dans la maquette numérique : « nous sommes globalement dans une démarche innovante ; cependant toutes les demandes actuelles passent par le bureau d'études d'AMP ce qui est un frein majeur et en fait un goulot d'étranglement dans les demandes BIM ».

AMP cherche ainsi à étendre la classification des objets et composants dans le champ des infrastructures et des réseaux, mal couvert par sa classification actuelle. AMP attend ainsi des propositions de la part de BYTP permettant d'étendre le champ actuel de leur classification à l'ensemble des objets présents dans une infrastructure de réseaux routiers et d'énergie .

AMP développe aussi une démarche globale pour former l'ensemble des collaborateurs à la maquette numérique et à l'usage des outils de modélisation, de visualisation et d'extraction de données.

AMP souligne l'importance de la fonctionnalité des réseaux dans les représentations numériques dont ils ont besoin. AMP parle alors de synoptique et est conscient de devoir faire de nombreuses saisies à la main pour renseigner, par exemple, les fonctions des câbles le long des tracés des divers réseaux.

Comme le remarquent les intervenants MINnD, la vision d'AMP est assez similaire à celle exprimée par des industriels utilisant le concept de « Product Life Cycle Management » (cf. Groupes de Travail 3.1 et 3.2 de MINnD Saison 2).

### Visualisation

Aujourd'hui, AMP pousse à l'utilisation du visualiseur de maquettes BIM Vision et Zoom de BIM Collab, car ils trouvent qu'EveBIM du CSTB n'est pas d'un emploi très intuitif. Cependant, Zoom permet en particulier de créer à la volée des vues en plan par projection de la maquette sur un niveau, ce qui permet une meilleure transition entre la 2D et 3D.

Cependant, le chantier explique avoir souvent utilisé EveBIM, car c'est le seul visualiseur qui prend en charge les liens Windows pour les fiches techniques vers un répertoire.

## REX AMP sur la démarche BIM lors du projet RPDL

### Retour d'expérience

Après étude en détail de l'expérimentation de la démarche BIM sur ce projet d'infrastructure, voici quelques points essentiels de retour d'expérience.

Il est nécessaire de codifier l'ensemble des éléments ou des objets que l'on trouvera dans la maquette livrée à AMP. Par contre aujourd'hui, AMP n'a pas défini toutes les codifications pour un certain nombre d'objets ou d'équipements présents sur le rond-point. Il est important de noter qu'à l'issue du projet en cours tous les équipements n'auront pas été codifiés. Pourtant, la définition des besoins par un maître d'ouvrage est fondamentale, que ces besoins portent sur la codification ou plus largement sur d'autres objets et processus. Elle ne peut en effet être faite que par celui-ci, car lui seul connaît son métier et ses activités, ou tout du moins doit, préalablement à toute nouvelle construction, comprendre les activités et processus de ses propres clients qui vont lui succéder. Ce sont des besoins de gestion patrimoniale et d'exploitation/maintenance.

Concernant les niveaux de détail et les niveaux d'information requis, AMP dit qu'il n'est pas toujours facile de définir ces niveaux. AMP n'a pas souhaité définir des prérequis pour les entreprises, car, volontairement, ils ne veulent pas imposer un cadre particulier qui serait trop rigide. Ils demandent pour le DOE et la maquette numérique exploitation un certain nombre d'objets codifiés dans le cadre d'une vision BIM patrimoine.

AMP indique que dans le DOE il y a 2 buts poursuivis : avoir un ouvrage qui correspond à ce qui a été demandé par le client et avoir une maquette numérique pour les travaux.

AMP rappelle que dans leurs marchés de travaux il y a beaucoup de petites entreprises qui sont confrontées à la difficulté de monter en compétence sur le BIM.

### Objectifs BIM raisonnables

Il faut être raisonnable dans les objectifs BIM et les objectifs de la maquette numérique. La charte BIM a été rédigée dans ce sens. AMP dit avoir fait des choix pragmatiques, car ils doivent gérer plus de 300 km de réseau et 200 000 mètres carrés de bâtiments.

AMP considère que le DOE est une photographie de l'état existant à une date donnée. Mais ceci ne suffit pas à définir les niveaux de détails et d'information. En effet, la gestion patrimoniale et d'exploitation-maintenance peut se situer à différents horizons temporels. Dans la très grande majorité des cas, il s'agit de préoccupations de gestion quotidienne, voire de maintien en condition opérationnelle à l'horizon de quelques mois. À l'opposé, la prise en compte d'évolution de long terme des capacités de trafic, ou des normes de sécurité, peut conduire à envisager des interventions de réhabilitation ou d'ouvrages neufs à intégrer dans leurs multiples facettes, à l'ouvrage en cours de réalisation.

Dans le premier cas, de multiples informations et détails qui s'étaient avérés indispensables lors de la construction initiale peuvent devenir totalement inutiles, eu égard aux exigences de la gestion de court ou moyen terme.

### Mise en place d'une plateforme collaborative

Tout l'enjeu est donc de définir des niveaux d'informations et de détails adéquats dans la maquette BIM, pour être géré ensuite dans l'outil d'exploitation-maintenance ou dans l'optique d'un patrimoine numérique facilitant une reconstruction ou une réhabilitation.

AMP considère que La démarche de mise en place de la plateforme collaborative KROQI sur le projet n'a pas été un succès pour différentes raisons : manque de formation à l'utilisation de la plateforme, qui d'ailleurs n'avait pas fait l'objet d'une demande explicite de leur part. AMP n'a pas trouvé d'intérêt à utiliser cette plateforme KROQI, ayant délégué le suivi BIM à une AMO dédiée (ui ne l'a pas utilisée non plus.

Pourtant la démonstration de KROQI auprès de l'équipe BIM d'AMP avait été faite par l'équipe de BYTP en vue de présenter les livrables du DOE BIM.

### Tour de table REX des différents acteurs du projet

#### REX EGIS

Pour EGIS, agence de Marseille, c'était une première. Selon eux il est indispensable de s'approprier ou de se réapproprier les logiciels métiers pour pouvoir produire en BIM. Le sujet de la structuration des données doit être anticipé le plus tôt possible et ce, afin de permettre une évolution de la maquette entre les différentes phases d'études. Il est important d'avoir la vision finale, c'est-à-dire la vision exploitation-maintenance, pour éviter de partir dans tous les sens.

Actuellement, EGIS travaille avec le CSTB et Euroméditerranée<sup>1</sup> sur un tableau des objets pour les infrastructures et leur niveau de détail.

#### REX BYTP

À l'interrogation soulevée par la MOA sur les avantages/inconvénients trouvés à passer par une conception/réalisation plutôt que par un schéma loi MOP classique, il semble qu'EGIS n'y trouve pas d'avantage particulier. En revanche, Bouygues TP a trouvé que le processus était avantageux (plus fluide) et les questions des méthodes de construction soulevées plus tôt.

Pour EGIS, ses tâches BIM ne couvraient pas le suivi durant la phase construction.

AMP a soulevé également le sujet de la modification effective de la maquette, à la suite d'adaptations de travaux. Bouygues TP indique que grâce à la présence d'une personne dédiée, en l'occurrence du BIM Coordinateur (M. Atlante) sur le chantier au quotidien, le suivi est plus fin et les rectifications apportées au fil de l'eau. Ce suivi BIM ne trouve toute sa force et toute sa pertinence qui si un suivi topographique de chaque partie d'ouvrage est assuré simultanément pour garantir la qualité de réalisation des ouvrages.

#### REX BE STOA

Le REX du BE Paysage (STOA) est qu'ils n'ont pas pu s'intégrer dans le processus BIM du projet. Cela a été une grande frustration pour eux, car ils ont eu de gros soucis de représentation de leur travail d'étude de végétation « en strates basses ». Leurs maquettes/objets étaient trop lourdes (un végétal modélisé pèse aussi lourd que toute la maquette) pour les outils BIM utilisés dans le projet et pour un résultat recherché, assez limité, de quelques plans ou vues fixes du rendu des végétaux à divers stades de croissance. Il est donc nécessaire de développer à l'avenir des objets génériques de végétation qui soient légers en termes de capacité mémoire utilisée, tout en étant performants pour simuler nativement la croissance.

#### REX BE EGCEM

Le BE EGCEM (sous-traitant exécution pour le génie civil) a regretté les délais pour disposer d'une maquette conforme à l'avancement des études. Il indique qu'il a dû recréer toutes les maquettes numériques pour l'exécution, car celle fournie par

<sup>1</sup> Maître d'ouvrage des développements immobiliers et de quartier sur Marseille en voisinage des installations portuaires.

EGIS après la phase PRO n'était pas assez précise et a nécessité un double travail dû à la ressaisie d'informations.

**REX Colas**

Colas n'était pas présent à la réunion, mais il avait fait un retour sur l'usage du BIM sur ce projet et celui-ci se trouve en accord avec toutes les remarques précédentes. Colas insiste sur le fait que de disposer d'une personne sur place sur le chantier, afin de maintenir à jour la maquette numérique avait été très positif.

**REX AMP**

En conclusion, AMP a expliqué que la maquette DOE qui serait transmise ne sera pas directement utilisée pour l'exploitation-maintenance, car elle nécessitera un retraitement en ce qui concerne la structuration des données (à l'issue de la réflexion initiée par AMP sur la réorganisation de leur GMAO). Elle sera conservée en l'état pour le moment. L'exploitation-maintenance se fera sur la base des plans 2D.

Une réception de la MN n'avait pas été prévue initialement, conduisant les acteurs à de nombreux tâtonnements et à un manque d'anticipation. Il est important de prévoir des modalités de réception d'une maquette numérique dès la signature du contrat initial, pour mettre en tension les acteurs autour d'un objectif qui est celui de doter l'actif physique d'éléments de son image numérique. Un actif physique doit être doublé de son image numérique (jumeau numérique ?), pour être exploité et géré au mieux. .

Vincent Cousin présente à AMP, la notion de PLM, sujet étudié dans le cadre du projet MINnD et qui constitue un premier pas vers un BIM de patrimoine, fait de multiples projets de construction.

**Débriefing de la réunion**

En réunion, il a été évoqué la notion de système pour les réseaux. En particulier, AMP semble être intéressé par un synoptique des réseaux en lien avec la MN, afin de pouvoir détecter rapidement les réseaux impactés par une coupure accidentelle d'un fourreau, par exemple.

Un problème de fond semble venir de ce que la conception et l'installation des câbles se font à partir de schéma de câblage qui ne sont pas intégrés au BIM. En effet, la maquette numérique ne prend pas en compte (ou très mal) la représentation fonctionnelle des ouvrages et en particulier celles des réseaux. Un tableau de mappage entre les carnets de câblage et les chambres de tirage et fourreaux semble nécessaire, afin de mettre à jour les informations de la maquette numérique du DOE.

Le bureau d'études EGCEM n'a pas fait de modélisation, car la maquette PRO réalisée par EGIS a été finalisée trop tard. Cependant, une fois finalisée, le coordinateur BIM de BYTP a pu la reprendre et la modifier en fonction des travaux. Plus précisément, une hypothèse à tester serait de vérifier si les maquettes des MOE sont assez précises pour ne pas avoir à tout reprendre. C'est une question à anticiper lors de la fixation des LOD et LOIN.

Les méthodes de construction sont également importantes à prendre en compte dans la modélisation des objets de la maquette de conception, car les premières peuvent présenter des boucles de rétroaction avec la conception. Il en est ainsi par exemple lorsque le phasage des travaux permet à certaines déformations permanentes de prendre place, pouvant ainsi modifier les conditions de conception de travaux ultérieurs.

### 4.3 Photos illustrant le chantier RPDL

Photos prises sur le chantier



Trémie d'entrée depuis les terminaux



Trémie de sortie depuis en haut



Trémie de sortie depuis la chaussée – noter les venues d'eaux aux intersections de pieux



Intérieur du passage inférieur



Dispositif de relevage des eaux de pluie



Trémie de sortie

*(Crédits photos : Eric Tournez et Vincent Cousin)*

## 5. REVUE NUMÉRISÉE DE PROJET ET RÉCEPTION EN BIM

Arborescence d'architecture et d'exigences à la base du processus de revue de projet

**La revue numérisée de projet** est, nous l'avons précisé, la réunion proprement dit, un jour donné, animée par le chef de projet, ou le responsable d'un sous-projet, avec tous les acteurs du projet impliqués par l'ordre du jour de la réunion. Cette réunion est outillée avec tous les documents, numérisés, vues et enregistrements, archives, jugés nécessaires par le manager qui anime la réunion.

Cette réunion est par définition, suivie par n autres et constitue une suite de réunions. Donc ces réunions de projet s'enchaînent et leur suite constitue en elle-même un processus d'accumulation de documents, de décisions prises et notées et rendues effectives pour tous les acteurs qu'elles impactent.

Cette suite de revues numérisées de projet prend donc naturellement sa source dans l'expression des besoins du client en début de projet et aboutit, in fine à **la revue de réception en BIM des travaux**. Le projet n'étant terminé et à réceptionner que s'il satisfait l'ensemble des exigences. La revue de réception apparait donc comme le stade ultime de l'enchaînement des réunions numérisées de projet. Cette revue de réception a donné lieu au travail du groupe GT 2.1 de la saison S1 de MINnD.

La suite des revues numérisées de projet correspond donc à un classement selon les vues opérationnelles, fonctionnelles et organiques développé en partant des besoins opérationnels du client. Elle aboutit aux documents et vues pour la revue de réception en BIM des travaux, qui vérifie la satisfaction de toutes les exigences, y compris les exigences opérationnelles.

Cet ensemble de documents pour la réception en BIM des travaux comprend les objets construits (communément appelés le système à faire), mais également les éléments traitant des opérations préalables à la réception et les opérations de la réception elle-même (communément appelés le système pour faire).

Rappelons que pour tout ouvrage trois visions s'articulent :

- la vision ou architecture opérationnelle décrivant l'ouvrage à construire tel qu'il est ou sera vu par son opérateur
- la vision abstraite décrivant les diverses fonctions que doit remplir l'ouvrage à construire et enfin la vision concrète ou organique des organes ou éléments constructifs permettant de produire ces diverses fonctions.

Ces trois visions expriment la solution finalement retenue. Les exigences sont déclinées pour tous les éléments des vues fonctionnelles et organiques en partant des vues et exigences (ou besoins) opérationnelles. Ces vues fonctionnelles et organiques sont les expressions des besoins exprimés par toutes les parties prenantes à un projet de construction.

L'arborescence développée sur la base du CCTP de l'ouvrage « Rond-point des lavandes » est présentée ci-après. L'arborescence détaille également les processus à l'œuvre pour la future réception de l'ouvrage.

L'arborescence a été développée sous Freemind (logiciel open source à télécharger sur *sourceforge*, par exemple). Elle concerne en premier lieu le système produit, à six branches :

1. Architecture opérationnelle
2. Besoins opérationnels
3. Architecture fonctionnelle
4. Exigences fonctionnelles
5. Architecture organique
6. Exigences organiques.

Arborescence du système produit ou de l'ouvrage RPD

Il est recommandé d'en prendre connaissance dans ce même sens de lecture et de déploiement des branches. Ne sont représentés ni les liens de filiation ou de rattachement des exigences à l'architecture de même type, ni ceux de filiation des exigences d'un type aux exigences du type précédent (fonctionnel répondant à opérationnel, organique répondant à fonctionnel). Le niveau de détail pour une expérimentation doit être choisi pour parvenir, non pas à une liste exhaustive de toutes les exigences, mais à formuler toutes les classes importantes des exigences.

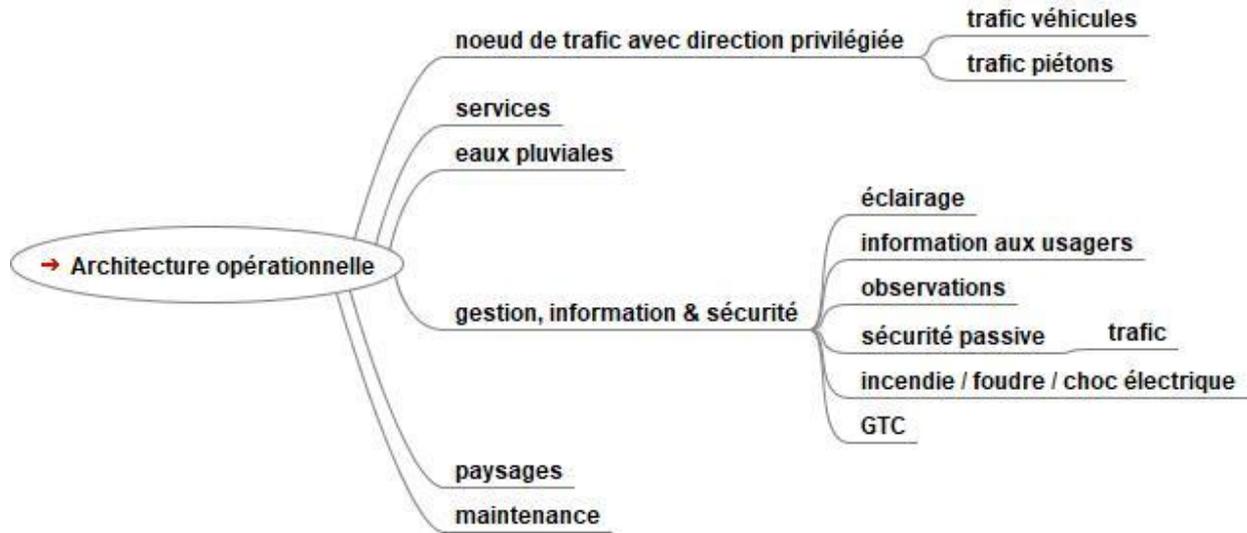


Fig 1. Architecture opérationnelle du RPD

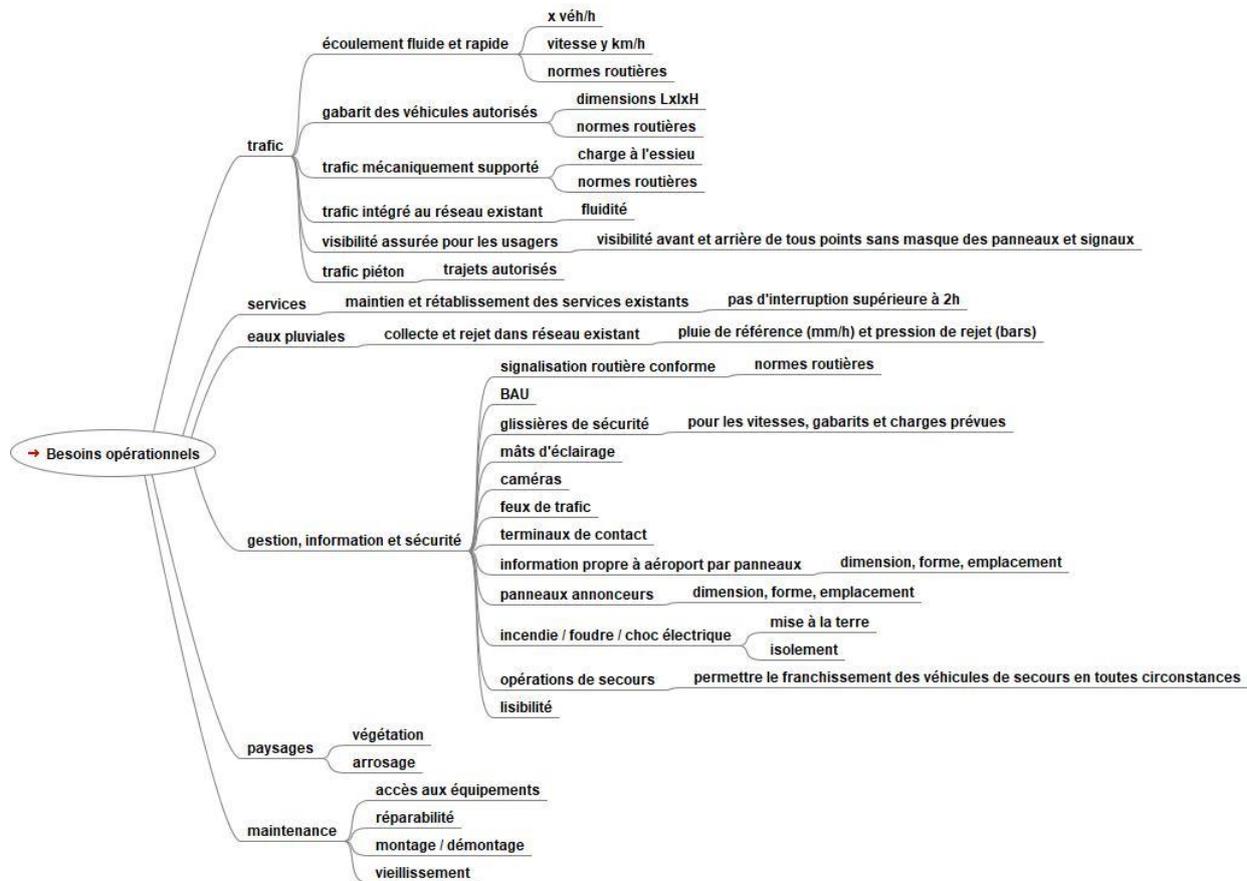


Fig 2. Structuration des besoins opérationnels associés

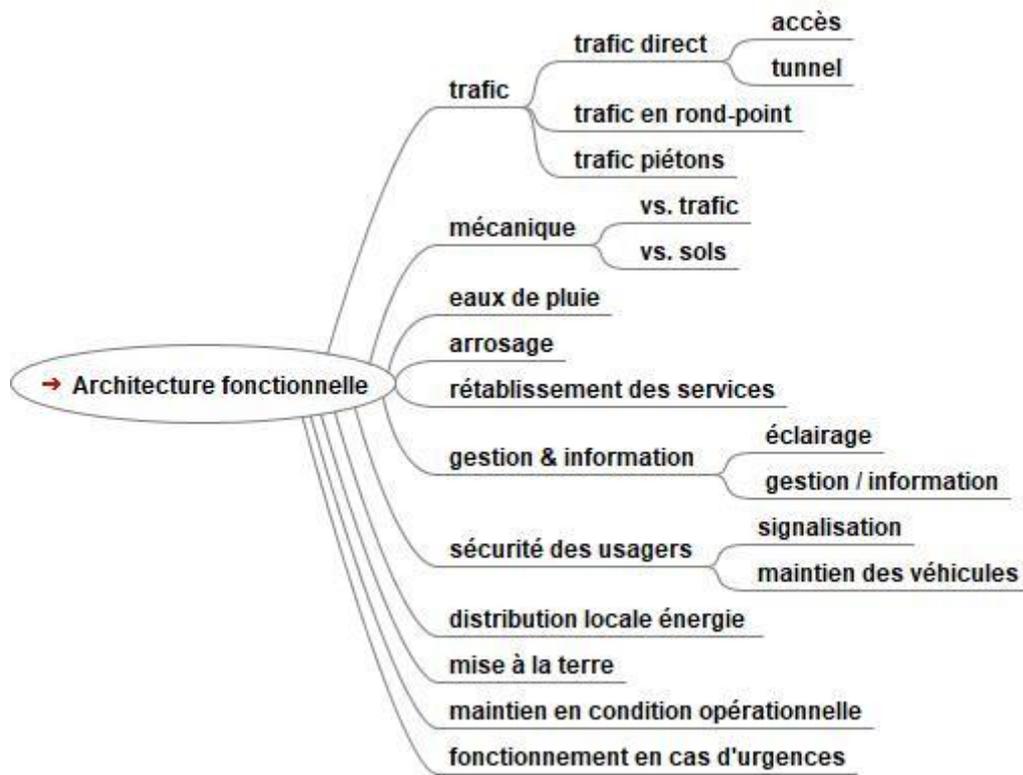


Fig 3. Architecture fonctionnelle

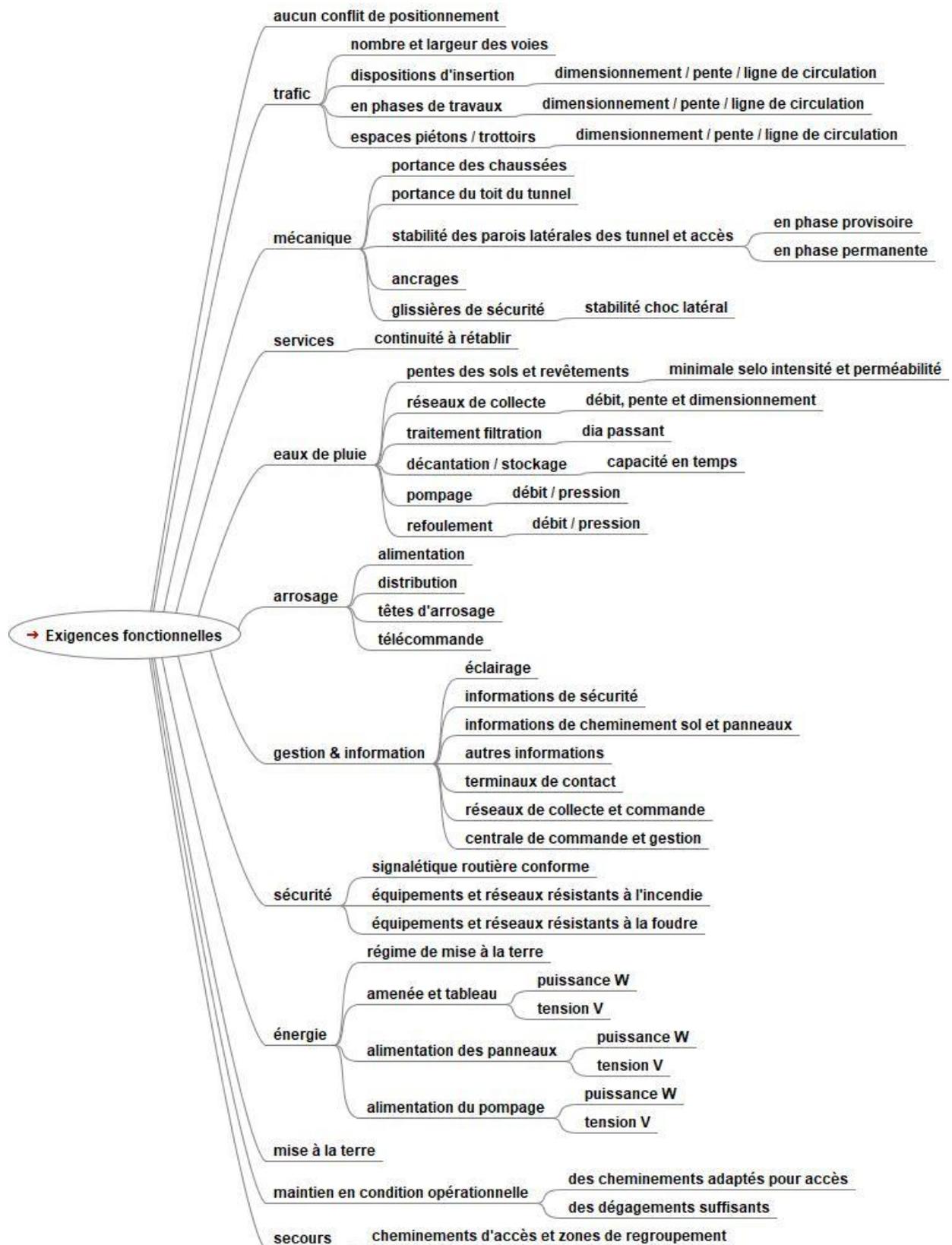


Fig 4. Structuration des exigences fonctionnelles associées

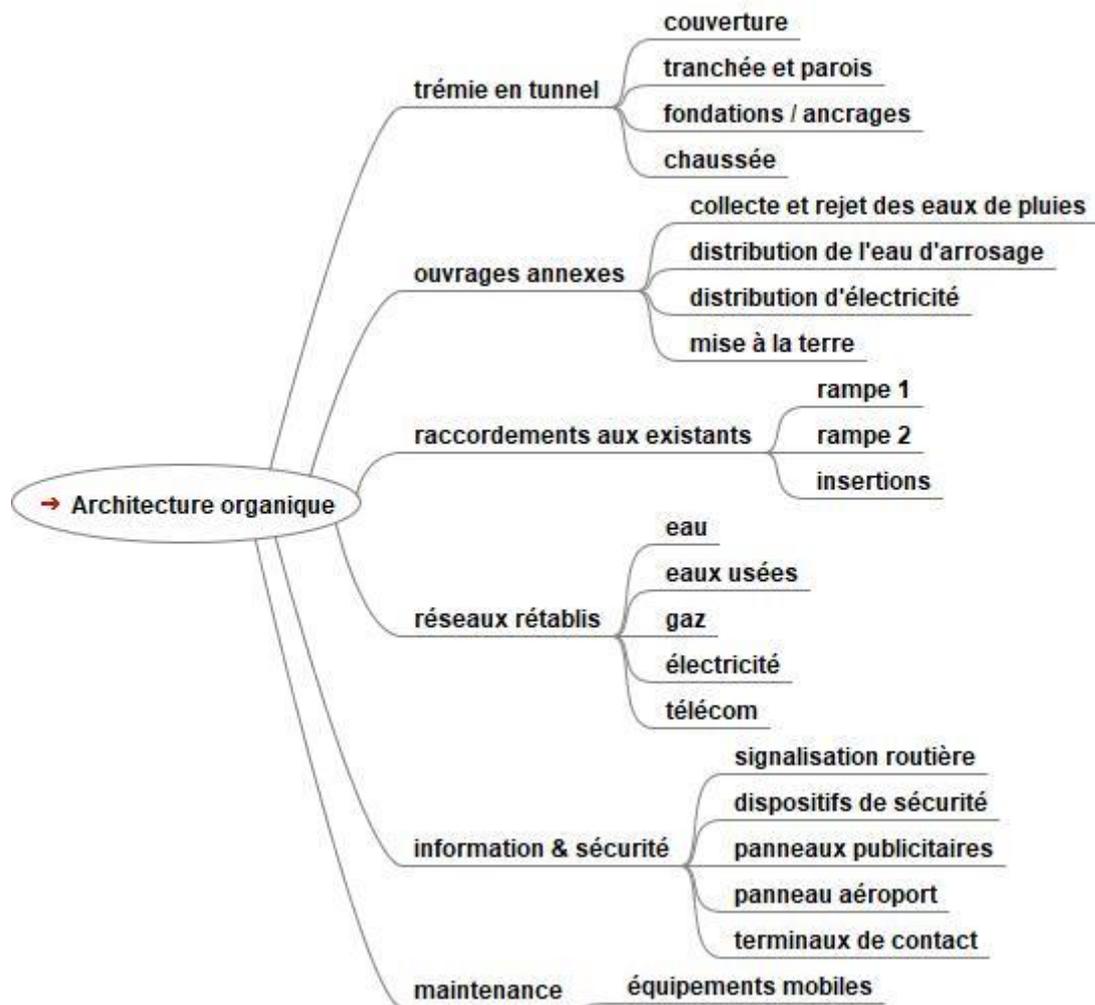


Fig 5. Architecture organique

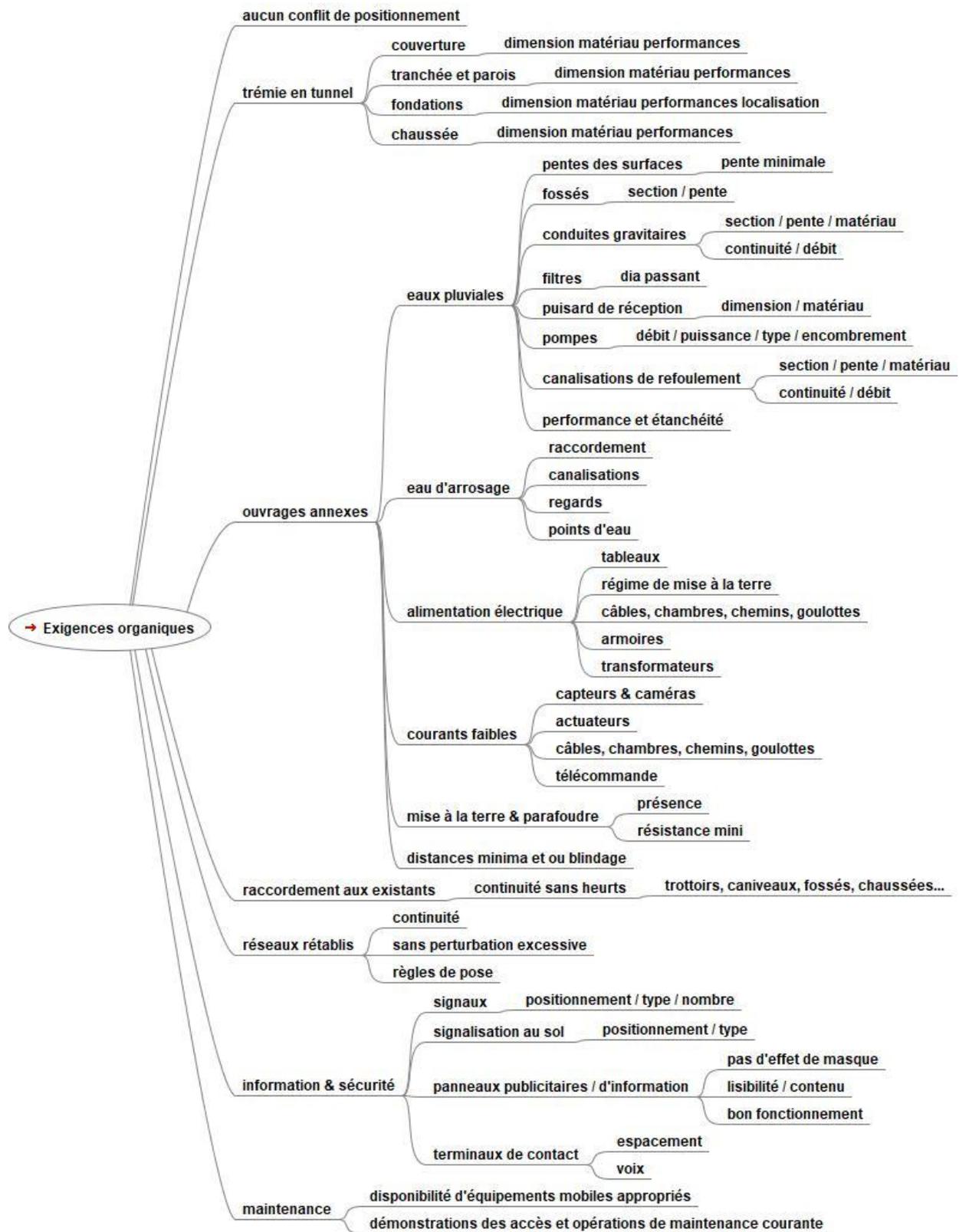


Fig 6. Structuration des exigences organiques

**L'arborescence du système pour faire ou système-projet**

Une autre partie de l'arborescence explicite le système projet, uniquement par les grandes têtes de chapitre, mais en rendant compte des principaux processus qui explicitent la livraison, tels que listés ci-dessous. L'opération de réception appartient au système-projet et le BIM est un des outils de ce même système-projet.

<b>Conception</b>	<p>Phase de conception<sup>2</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revue d'opérationnalités (satisfaction de toutes les exigences durant cette phase, en particulier les exigences fonctionnelles et opérationnelles) ;</li> <li>• Conformité BIM (satisfaction des exigences propres au BIM).</li> </ul>
<b>Réalisation</b>	<p>Phase de réalisation<sup>3</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement des non-conformités (un processus importé directement de l'assurance qualité et des contrôles qualités effectués à quelque étape que ce soit lors de la réalisation) : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Enregistrés dans le Journal de bord (logiciel et base Dalux).</li> </ul> </li> <li>• Traitement des travaux modificatifs ordonnés durant cette phase : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gérés par la gestion contractuelle ;</li> <li>– Pouvant remettre en cause aussi les résultats de la phase de conception.</li> </ul> </li> <li>• Récolements (relevés des ouvrages et services enterrés avant remblaiement) <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pieux sécants renseignés TQC à l'avancement (aux tolérances près) ;</li> <li>– Ancrages (tracés) ;</li> <li>– Services existants ;</li> <li>– Nouveaux réseaux.</li> </ul> </li> <li>• Tests des continuités des services :</li> <li>• Constats des remises en services à l'avancement.</li> </ul>
<b>Opérations Préalables à Réception (OPR)</b>	<p>Opérations préalables à la réception<sup>4</sup> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revues d'opérationnalités (idem 1a ci-avant, mais tenant compte de toutes les interventions survenues au cours de la phase de réalisation, susceptibles d'avoir affecté les résultats antérieurs) ;</li> <li>• Épreuves de capacité : par exemple essais en charge des pieux ou des ancrages ;</li> <li>• Test des opérationnalités (et fonctionnalités) : vérification que les systèmes techniques sont fonctionnels ;</li> <li>• Épreuves de performance : vérification des performances des systèmes (par exemple essais à débit maximum des réseaux d'eau) ;</li> <li>• Inspections d'achèvement : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Listes contradictoires des réserves, puis de leurs levées ;</li> </ul> </li> <li>• Marquage des opérations de livraison sur la maquette BIM : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Renseigner chaque objet avec un ou plusieurs attributs sur la satisfaction des tâches identifiées aux 3 phases précédemment étudiées (conception, réalisation, opérations préalables à la réception) ;</li> <li>– Étudier les capacités de l'usage du format BCF pour le suivi de ces tâches ;</li> </ul> </li> <li>• Conformité BIM : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Conformité du BIM (de la maquette numérique, surtout) à la convention BIM (à qualifier systématiquement pour éviter tout malentendu, même si la maquette numérique n'est pas « contractuelle »).</li> </ul> </li> </ul> <p>Dans le cas de cette expérimentation, la conformité à la Charte BIM de l'Aéroport ne peut guère être étudiée, puisque celle-ci a été rédigée pour des travaux de bâtiment la rendant inapplicable en l'état aux travaux du Rond-Point.</p>

<sup>2</sup> Correspond à la partie descendante du cycle en V d'un projet en ingénierie des systèmes

<sup>3</sup> Correspond à la partie montante du cycle en V

<sup>4</sup> Correspond à la partie terminale montante du cycle en V

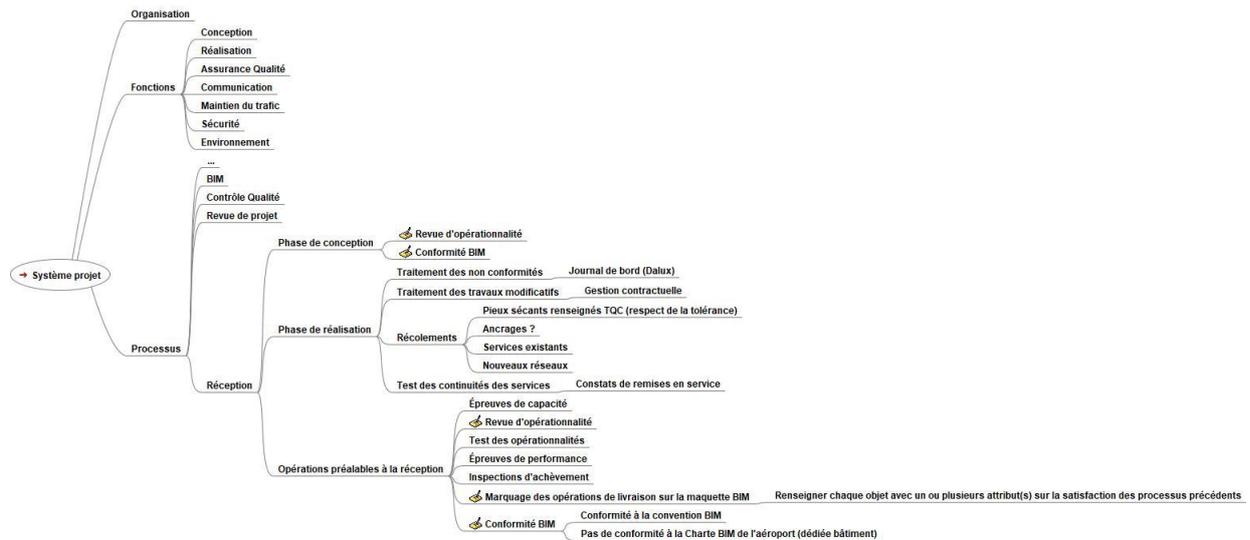


Fig 7. Architecture du système-projet ou système pour faire

## Nouvelle expérimentation

### Travaux envisagés

De façon à compléter les travaux du groupe de travail une expérimentation sur un projet, dès son avant-projet, est apparue nécessaire aux participants. Un projet de tram-train en Ile de France semblait avoir les qualités requises, car un des partenaires de ce projet tram-train était engagé sur une fonction d'assistance à maîtrise d'ouvrage sur le rond-point des lavandes. Malheureusement, lors du montage de l'expérimentation, il est apparu que les difficultés liées aux conflits d'intérêts potentiels entre acteurs (ceux du projet dans ses phases ultérieures, ceux actuels du projet ou de la recherche), étaient trop délicates pour être réglées sans risques pour les parties. L'expérimentation a donc dû être abandonnée.

Les étapes qui étaient alors envisagées, sous réserve d'analyses plus détaillées et complètes, étaient les suivantes :

- Compléter la cartographie des acteurs (cf. l'ébauche présentée ci-après) et de leurs rôles attendus, pour en suivre les interactions souhaitées ou réelles dans les processus des cas d'usages à choisir collectivement.
- Compléter les arborescences développées ci-avant dans le premier cadre du RPD, selon le descriptif des travaux et selon les analyses de l'équipe, pour rester dans un travail avec une certaine focalisation, n'interférant que raisonnablement avec le projet en exécution.
- Faire une note explicative des processus à expérimenter sur des cas d'usages limités, mais construits en considération de la réception des ouvrages.
- Développer le processus mixte revue de projet et revue de réception avec l'aide de diagrammes de processus selon les principes du BPMN (réception physique, réception en BIM), c'est-à-dire détailler les 13 processus précédents. En effet, les diagrammes de structuration de type arborescence Freemind sont insuffisants pour suivre dans le détail les processus de travail comme des tâches à effectuer pour modéliser une opération aussi complexe que celle de la révision numérique des projets, qui est à la base de la réception de ceux-ci. Se référer pour plus ample discussion de ce point aux travaux du groupe de travail 2.1 de MINnD, sur la Réception en BIM.
- Suivre le déroulé des opérations et des revues de projets, les supporter avec les outils présentés en Saison 1 de MINnD, mettre en place des outils d'appropriation de ceux-ci, les annoter et en rendre compte lors des revues, les améliorer.
- Faire une synthèse et des recommandations d'améliorations.
- Partager ces expérimentations au sein d'un groupe plus large de professionnels..

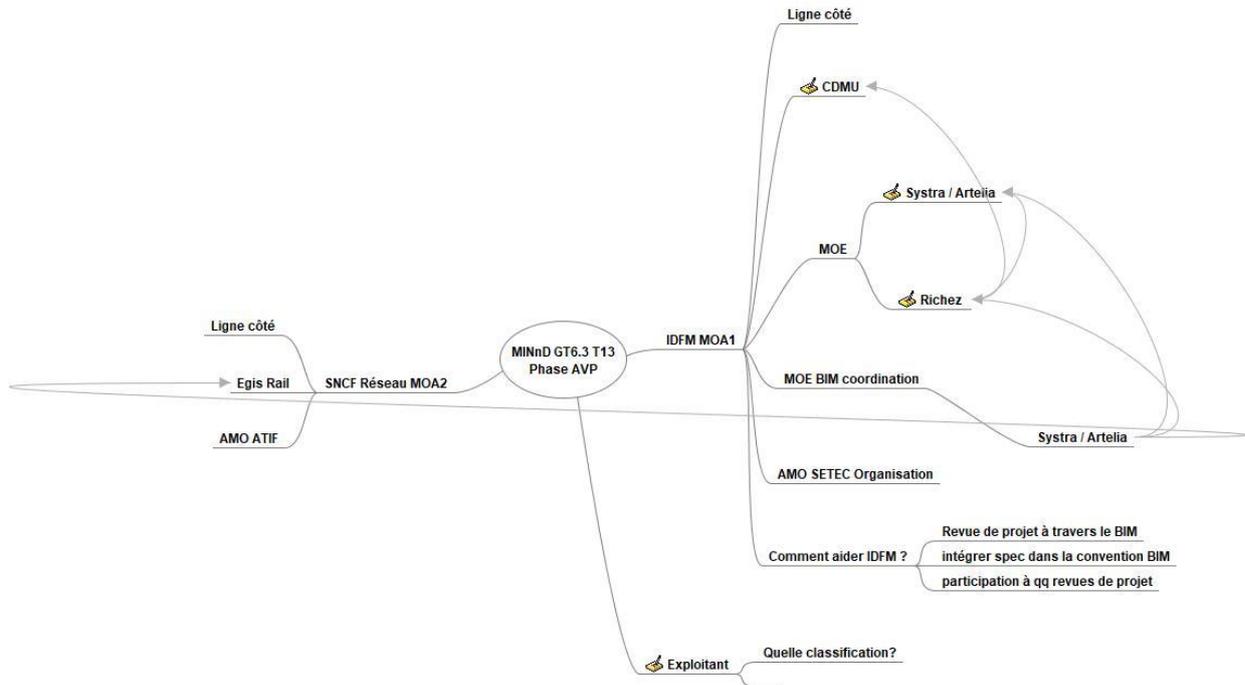


Fig 8. Réflexion préliminaire et cartographie des acteurs

## 6. CONCLUSION

### Une tentative inaboutie

Le travail du GT 6.2 de la Saison 1 de MINnD avait développé un guide et des recommandations d'outils, pouvant supporter le processus de revue de projet. Rappelons que dans toute démarche BIM ou de Jumeau numérique, il est essentiel de mettre en place, dès les phases de programmation où se décident des architectures et besoins opérationnels, toute une organisation de processus, de moyens et d'outils dans le cadre de l'ingénierie des systèmes. De ce fait, une expérimentation de revue de projets, fusse-t-elle relative aux cas d'usages des réceptions en BIM, doit être pensée dès cette phase de programmation ou tout au moins d'avant-projet. Elle se situe donc en amont des nombreux appels d'offres qui vont jalonner les phases de conception, puis de réalisation. Elle est donc particulièrement sujette aux limitations du code des marchés publics, qui sont très strictes quant aux délits de favoritisme qui pourraient résulter de la présence dans l'équipe de recherche d'intervenants susceptibles de répondre aux appels d'offres subséquents.

### C'est pourtant une expérimentation nécessaire

Pour que la recherche soit efficace, il est important que tous les acteurs de la chaîne de valeur soient représentés pour une bonne prise en compte des points de vues impactés par les processus étudiés. Une « étanchéité rigoureuse » des équipes est quasi impossible à réaliser, imposant que les intervenants renoncent à participer à quelque appel d'offres que ce soit par la suite. C'est un point qui avait été sous-estimé.

De l'avis de tous les intervenants dans l'équipe du GT 6.2, mais également au regard des contacts pris tant au niveau d'AMP que des participants au projet de tram-train, ce type d'expérimentation est jugé nécessaire et mérite d'être poursuivi. La continuité numérique du maître d'ouvrage au maître d'œuvre, puis du maître d'œuvre aux entreprises, sous-traitants et fabricants, puis aux exploitants et mainteneurs, dont les besoins sont supposés avoir été exprimés en amont par le maître d'ouvrage, exige que la mise au point des processus pensés collectivement soit validée par des expérimentations. Ces expérimentations impliquant le même type d'acteurs que ceux du projet, pour assurer un dialogue non conflictuel entre ces catégories d'acteurs.

### Les outils et processus à suivre

Les outils strictement de l'ordre de la revue de projet ont été déjà explicités en Saison 1 de MINnD. Il s'agissait alors d'un guide complet et de fiches associées, tant pour la tenue et la convocation des réunions que pour les participants à même de soulever des problèmes, à leurs yeux non résolus.

Ils sont à compléter par une structuration des données selon l'ingénierie des exigences et la mise au point d'un minimum d'éléments de structuration avec des architectures opérationnelles, fonctionnelles puis organiques (un premier exercice dans ce sens a été fait lors de la préparation au RPD).

Ils sont à compléter également par une étude plus poussée des processus à l'œuvre dans les cas d'usages retenus (par exemple dans la perspective de la réception si c'est la focalisation recherchée). Celle-ci n'a pu être qu'ébauchée lors de cette saison pour les raisons explicitées ci-avant. Elle sera, dans le cas de réception en BIM, à développer à la lumière des résultats du groupe de travail 2.1 de MINnD S2 « Réception en BIM ».

### Le rôle primordial du Maître d'ouvrage

Le travail fait au niveau du RPD permet de souligner le rôle fondamental du Maître d'ouvrage. C'est lui qui pose les questions/demandes : les opérations attendues, l'exploitation souhaitée, le caractère

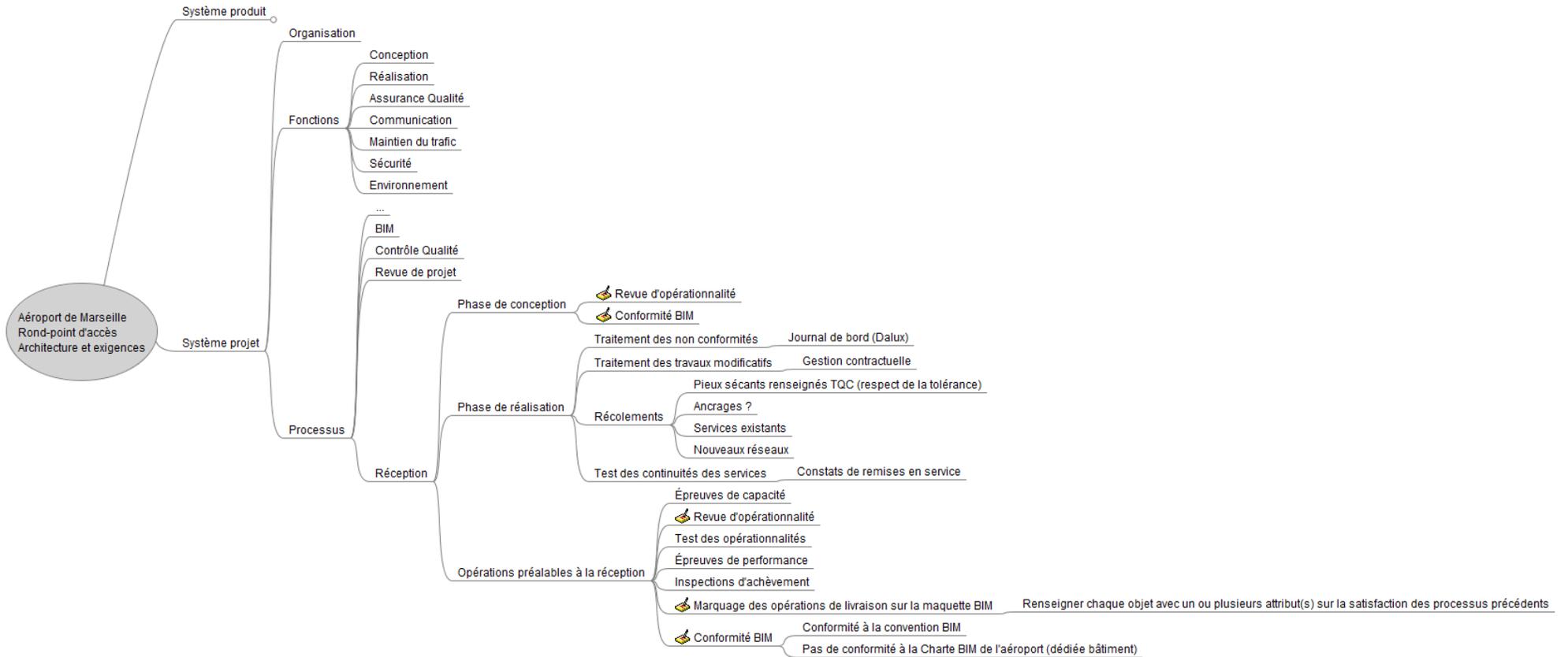
**Recommandations  
d'ordre juridique et  
contractuel pour le  
lancement de nouvelles  
expérimentations**

facilité de maintien en condition opérationnelle de l'ensemble patrimonial enrichi par une succession de projets. La transformation numérique s'applique à tout acteur et il n'existe plus d'objet construit ou fabriqué, qui ne soit pas doté de son propre outil numérique de gestion et d'exploitation. Le BIM, ou plus tout développement numérique de construction (conception et réalisation) doit s'intégrer dans cette démarche. Le Jumeau numérique procède du même ensemble de démarches.

L'assurance ultime pour que le Maître d'ouvrage soit confiant et rassuré sur la satisfaction de ses besoins, réside dans le suivi, concrétisé par les revues de projet, toutes les exigences ayant été correctement dérivées et *in fine* satisfaites.

Ce travail a achoppé sur les restrictions apportées par le code des marchés publics : la présence à l'amont d'un projet, d'intervenants professionnels, susceptibles de participer aux appels d'offres ultérieurs est un obstacle insurmontable. Il faut donc procéder autrement et opérer une mise en place progressive des acteurs du projet de recherche, en intégrant les acteurs ultérieurs une fois que ceux-ci sont connus selon les règles de dévolution des marchés. C'est aux acteurs présents durant une phase donnée, d'imaginer les besoins des acteurs ultérieurs et de les prendre en compte nominalement, à charge ensuite à tous de les ajuster selon les imperfections décelées par les nouveaux arrivants. Des chercheurs ayant une longue pratique des projets ou des consultants indépendants peuvent aider à anticiper ces besoins.

# 7. ANNEXE



Cartographie heuristique (réalisée sous FreeMind) de l'Arborescence développée pour le projet RDPL et dont certains détails ont été présentés dans le corps du rapport.