

Livrable

Modélisation des informations des chaussées sur le cycle de vie

Auteurs/Organismes

Ziad Hajar (Eiffage Infrastructures)
Christophe Castaing (Egis International)
Fabrice Breton (Vinci Concessions)
Patrice Afonso (Setec International)
Michel Poinignon (Ingerop)
François Tribouillois (Gfi Informatique)
Philippe Lepert (Ifsttar)

Simon Platelle (Eiffage Infrastructures)
Gaëlle Le Bars (Egis International)
Eric Layerle (Eurovia)
Olivier Dupouy (Setec International)
Clara Arnould (Ingerop)
Maxime Casse (Gfi Informatique)

Structuration des données (thème 3) Cycle de vie des chaussées (UC2)

MINnD_TH03_UC02_01_Modelisation_informations_chaussees_cycle_vie_008_2015
R/15 Décembre 2015

RESUME

Un projet de modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables	<p>Le projet MINnD s'intéresse à la modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables. Il associe des approches conceptuelles sur les outils et méthodes, les technologies et les processus et leur expérimentation sur plusieurs cas d'usage réels.</p>
Le domaine des chaussées d'une infrastructure linéaire	<p>Le cas d'usage UC2 concerne le domaine des chaussées d'une infrastructure linéaire et son développement, tout au long du cycle de vie de l'infrastructure :</p> <ul style="list-style-type: none">• Depuis la programmation, la conception, la construction.• Et jusqu'à l'exploitation, l'entretien et la maintenance.
La réunion d'un groupe de travail	<p>Le groupe de travail UC2 a réuni :</p> <ul style="list-style-type: none">• Les principaux acteurs impliqués dans la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des infrastructures.• Mais également des spécialistes du PLM (Product Lifecycle Management).
La définition d'un modèle de données associées à la chaussée	<p>Un modèle de données associées à la chaussée, intégré à la maquette numérique d'un projet d'infrastructure routière, a été défini d'une manière exhaustive pour les différentes phases de projet. Ce modèle porte sur toutes les catégories de route (Autoroutes, RN, RD, voies urbaines), avec les référentiels et standards correspondants. Il couvre à la fois les ouvrages neufs et existants.</p> <p>Sont également proposées une représentation des points de vue, des informations échangées, et une modélisation des processus clés.</p>
Un document en trois chapitres	<p>Le présent document est structuré en trois chapitres.</p>
Chapitre 1 : État de l'art	<p>Le chapitre 1 intitulé « État de l'art » fait le point sur l'existant dans le domaine de la gestion des infrastructures routières sous ces aspects :</p> <ul style="list-style-type: none">• Les acteurs de la gestion des routes sur leur cycle de vie.• Les informations échangées par ses acteurs.• Les processus dans lesquels se font ces échanges.• Les outils d'échange actuels. <p>Plus qu'une étude bibliographique, ce premier chapitre dresse un point de la situation dans le contexte français d'abord, européen et international au-delà. Bien entendu, il tire parti des projets et initiatives antérieurs et en cours.</p>
Chapitre 2 : Structuration des données	<p>Le chapitre 2 traite de la structuration des données chaussées relatives à un projet routier dans le contexte d'un modèle BIM. La démarche a consisté à :</p> <ul style="list-style-type: none">• Lister de manière exhaustive les données nécessaires à la réalisation d'un projet, en les affectant à des objets issus de la structure de la route.• Identifier les flux d'échanges par phase de projet, <p>Cette démarche a permis d'aboutir à un modèle de métadonnées formalisé par une matrice.</p>
Chapitre 3 : Gestion des exigences et des décisions	<p>Le chapitre 3, concerne :</p> <ul style="list-style-type: none">• La Gestion des exigences et des décisions, sur tout le cycle de vie de la chaussée.• L'application des outils de PLM existants pour la représentation des processus clés.

GLOSSAIRE

Abréviation	Définition
AIPCR	Association Internationale Permanente des Congrès de la Route
ALM	Application Lifecycle Management
APA	Avant-Projet Autoroutier
AVP	Avant-Projet
BIM	Building Information Modeling
BPMN	Business Process Model and Notation
BPU	Bordereaux des Prix Unitaires
CAO	Conception assistée par ordinateur
CCAP	Cahier des Clauses Administratives Particulières
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DE	Détail Estimatif
DOE	Dossier d'Ouvrage Exécuté
FAO	Fabrication assistée par ordinateur
GER	Gros Entretien et Renouvellement
MINnD	Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables
MES	Manufacturing Execution Systems
OEM	Original Equipment Manufacturer
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
PPSPS	Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé
PRO	Etudes de projet
SLM	Services Lifecycle Management
SIG	Système d'Informations Géographique
SDLC	Software Development LifeCycle
TMJA	Trafic Moyen Journalier Annuel
UC	Use Case / Cas d'usage

UC2 – Cycle de vie des chaussées

1- ÉTAT DE L'ART

Sommaire

1. INTRODUCTION	5
2. POSITION, OBJECTIF ET STRUCTURE DU PRESENT DOCUMENT	6
3. ACTEURS ET METIERS DANS LA GESTION DES CHAUSSEES	8
3.1. Visions d'ensemble des acteurs.....	8
3.2. Le propriétaire (= Maître d'ouvrage / Concédant)	12
3.3. Le gestionnaire (= Maître d'ouvrage délégué / concessionnaire).....	13
3.4. L'exploitant.....	14
3.5. Le concepteur.....	16
3.6. Le constructeur	17
4. LES DONNEES ECHANGEES	19
5. LES PROCESSUS	23
5.1. Différents niveaux de processus.....	23
5.2. Acteurs, objets et processus.....	25
6. MAQUETTE NUMERIQUE - L'EXISTANT	26
6.1. Les bases de données routières.....	26
6.2. Les systèmes d'informations géographiques.....	27
6.3. Complémentarité des BDR et des SIG. Place d'une MN	29
7. TERMINOLOGIE.....	30
8. ANNEXES	31
8.1. Annexe A : Documentation propriétaire	31
8.2. Annexe B : Documentation gestionnaire	31
8.3. Annexe C : Documentation exploitant	32
8.4. Annexe D : Documentation concepteur	33
8.5. Annexe E : Documentation constructeur	34
8.6. Annexe F : Structure des données.....	35

I. INTRODUCTION

Un prolongement de plusieurs projets et initiatives

Le projet MINnD s'intéresse à la modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables. Il s'inscrit dans le prolongement de plusieurs projets et initiatives, dont :

- Le projet ANR COMMUNIC [R3].
- Les projets OKSTRA [R4] et IfcRoad [R5].
- Les initiatives ENCORD-VCP [I1] et BIM [I2].

Un projet national aux ambitions multiples

Le projet MINnD est un projet national. Il affiche les ambitions suivantes :

- Structurer les informations à échanger.
- Définir les besoins d'outils logiciels à développer.
- Faire des préconisations de plateformes collaboratives.
- Faire des propositions d'évolution de la législation.

Un double objectif

L'objectif est à la fois :

- D'ouvrir des possibilités de simulation de la vie des infrastructures en 4D (X, Y, Z et T) pour étudier celles-ci dans leur globalité.
- D'offrir des outils d'échange entre les différentes activités, voire les différents métiers impliqués dans la gestion des infrastructures, depuis leur étude d'opportunité, leur conception, leur réalisation, jusqu'à leur exploitation.

Un projet s'appuyant sur les résultats de projets antérieurs

Ce projet peut s'appuyer sur les résultats de projets antérieurs, notamment le projet COMMUNIC (Collaboration par la maquette multi-usages numériques et l'ingénierie concurrente). Ce projet a mis en avant les principes d'un modèle numérique permettant la réalisation virtuelle anticipée des projets, les simulations numériques et les optimisations.

Des approches conceptuelles et des cas d'usage réels

Le projet MINnD associe des approches conceptuelles sur les outils et méthodes, les technologies et les processus, et des cas d'usage réels :

- Des cas d'usage normalisés étendus aux infrastructures.
- Un cas d'usage transverse sur le cycle de vie des chaussées.
- Un cas d'usage sur les projets d'ouvrages d'art visant surtout à approfondir certains travaux déjà réalisés (IFC-Bridges).
- Un cas d'usage centré sur les revues de projet et leur validation.
- Un cas d'usage sur la maîtrise des coûts par la modélisation.
- Enfin un cas d'usage sur les études d'impacts environnementaux.

¹ En intégrant, le cas échéant, des dimensions supplémentaires comme la dimension financière, les impacts économiques, sociétaux, environnementaux, etc.

2. POSITION, OBJECTIF ET STRUCTURE DU PRESENT DOCUMENT

Il ne s'agit pas d'un état de l'art sur les maquettes numériques...

Le présent document s'inscrit dans le cas d'usage sur le cycle de vie des chaussées. À ce titre, il n'est pas un état de l'art sur les maquettes numériques développées pour, ou utilisées dans le domaine du génie civil.

Un tel état de l'art relève du corps principal du projet. Il s'appuie effectivement sur COMMUNIC [R3], OKSTRA [R4], IfcRoad [R5], ENCORD-VCP [I1] ou encore BIM [I2].

... mais d'un point de situation sur l'intérêt des infrastructures routières

En revanche, c'est un document qui fait un point de situation sur l'intérêt que pourrait revêtir l'emploi de maquettes numériques pour la gestion (au sens large de construction, entretien, exploitation et déconstruction éventuelle) des infrastructures routières.

À ce titre, il est amené à intégrer certaines contributions des projets ou initiatives précitées dans la mesure où elles s'inscrivent utilement dans le cas d'usage.

De réelles perspectives de fluidification des échanges d'informations entre les acteurs

L'usage de maquettes numériques dans la gestion du cycle de vie des infrastructures routières ouvre de réelles perspectives de fluidification des échanges d'informations entre les différents acteurs de ce domaine. Encore faut-il identifier quels sont ces acteurs, quelles sont ces informations et quels sont les processus dans lesquels ces échanges interviennent.

Une réflexion conceptuelle importante a été menée sur ces aspects dans le projet COMMUNIC [R6]. Cette réflexion inspire les éléments plus pratiques, plus ciblés sur le cas d'usage, et qui sont développés ci-après.

Des acteurs et une structure variant d'un pays à un autre

Les **acteurs de la gestion** des infrastructures routières tout au long de leur durée de vie sont organisés dans une structure qui peut varier :

- D'un pays à un autre.
- D'une région du monde à une autre.

En effet, la structure reflète une culture (c'est-à-dire une histoire contrainte par un environnement) qui est nécessairement locale.

C'est ainsi que cette structure peut différer entre les pays anglo-saxons et ceux de culture plus latine. Si donc on peut s'intéresser aux analyses structurelles faites dans la littérature, notamment asiatique ou anglo-saxonne, il faut être prudent dans leur transposition à notre pays. Il reste que le double phénomène de rationalisation et de mondialisation tend à créer une certaine homogénéisation des structures de gestion.

La nature des informations à échanger

De nombreuses sources bibliographiques pour caractériser les infrastructures routières

La structuration des termes techniques est reprise dans ce document

En ce qui concerne la **nature des informations** à échanger, la situation est plus homogène à travers le monde. Des éléments trouvés dans la littérature, par exemple dans le projet coréen IfcRoads, sont utilisables.

En réalité, nombreuses sont les sources bibliographiques traitant des informations permettant de caractériser les infrastructures routières :

- À un titre ou un autre.
- Dans un objectif ou un autre.

L'AIPCR et l'OCDE ont particulièrement travaillé et produit sur ce sujet.

La structuration des termes techniques décrivant ces informations et leurs différents niveaux de détail doit néanmoins être reprise dans le présent document, pour en définir les bases. Cette structuration est utilement complétée par un dictionnaire des termes.

Des processus de nature et de complexité très variées

Les **processus** qui impliquent des échanges d'informations entre les acteurs sont de nature et de complexité très variées. COMMUNIC fait une analyse générale des processus selon trois niveaux : macro-processus, processus, sous-processus métier.

Dans le cas d'usage qui nous intéresse (gestion des chaussées sur leur durée de vie), les principaux macro-processus sont :

- L'étude d'opportunité de la route incluant les études de tracé et les études économiques.
- La conception des infrastructures.
- La construction des infrastructures.
- L'exploitation des infrastructures y compris leur entretien.
- La déconstruction des infrastructures, processus assez théorique toutefois.

La notion de maquette numérique

Une brève revue de l'existant dans ce domaine

Un point de situation des sujets présentés

La notion de maquette numérique est dans le prolongement (très en avant, il est vrai, dans ce prolongement) des systèmes aujourd'hui plus conventionnels que sont :

- Les bases de données routières.
- Les systèmes d'information géographiques.

Une partie du document est consacré à une brève revue de l'existant dans ce domaine. Il est en particulier intéressant de montrer que :

- La maquette numérique traduit (ou sous-tend) une autre approche que le système d'information géographique
- Les deux types d'outils présentent une certaine complémentarité.

Les quatre chapitres qui suivent traitent respectivement de ces trois aspects :

- Les acteurs de la gestion des routes sur leur cycle de vie.
- Les informations échangées par ses acteurs.
- Les processus dans lesquels se font ces échanges.
- Les outils d'échange actuels.

Plus qu'une étude bibliographique, ou même qu'un état de l'art, ces chapitres font un point de situation sur ces sujets, aujourd'hui, et dans le contexte français d'abord, européen au-delà, qui nous intéresse au premier chef. Ils tirent bien entendu parti des projets et initiatives antérieurs.

3. ACTEURS ET METIERS DANS LA GESTION DES CHAUSSEES

La vision de la gestion des infrastructures routières

La vision anglo-saxonne

La vision française

On peut identifier une vision très largement partagée, au niveau mondial, de l'organisation de la gestion des infrastructures routières. C'est ce que nous appelons sans doute de façon réductrice, la vision anglo-saxonne. Elle est de plus en plus marquée par une vision « marché », ou « privée » de cette activité, avec ce que cela comporte de recours à la contractualisation.

La vision française reste beaucoup plus publique, fondée sur des procédures d'administration. C'est cette vision qui est détaillée dans les paragraphes III.2, III.3 et III.6 ci-dessous.

3.1. Visions d'ensemble des acteurs

Le projet V-CON

Le projet V-CON propose **une description assez complète de l'organisation et des processus de gestion des infrastructures routières dans la culture anglo-saxonne.**

En simplifiant, il identifie une structure assez légère en charge de la gestion à court, moyen et long terme des infrastructures. Cette structure programme les besoins d'entretien (au sens large) du réseau.

Pour chaque besoin (ou ensemble de besoins), une structure de projet est fixée, qui elle-même sous-traite à un contractant les travaux à faire. La figure 1 ci-dessous schématise cette approche.

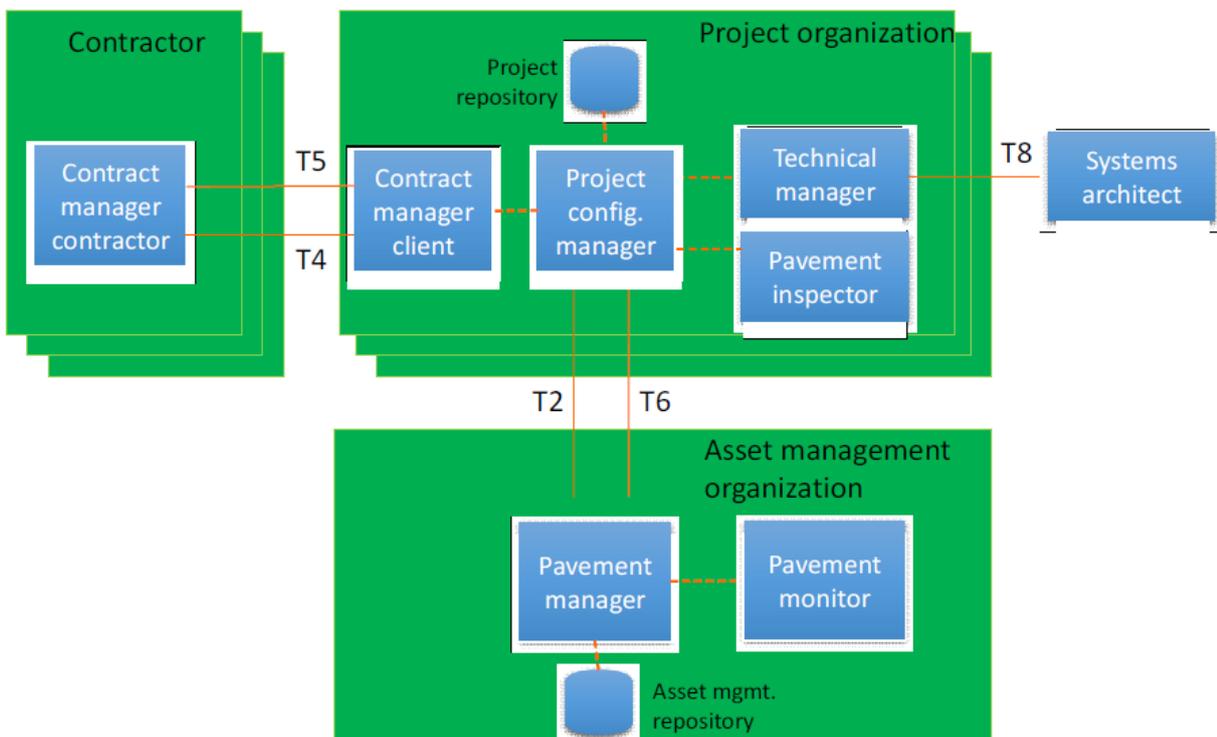


Figure 1 – Vision d'ensemble d'une structure de gestion (V-CON)

3.1 Visions d'ensemble des acteurs

Les différents acteurs Les différents acteurs sont :

Au sein...	Les acteurs sont...
De l'organisation de gestion du patrimoine	<ul style="list-style-type: none"> Le gestionnaire des chaussées (pavement manager) est en charge de la gestion d'ensemble y compris les analyses et la planification. Le surveillant des chaussées (pavement monitor) surveille et diagnostique en continu l'état des chaussées. <p>Tous les deux veillent à l'alimentation de la base de données qu'ils exploitent. Ils peuvent lancer les projets lorsqu'ils ont identifié et spécifié des besoins de travaux.</p>
D'un tel projet	<ul style="list-style-type: none"> Le responsable technique de projet (Project Conf. Manager) affûte les spécifications, en s'appuyant sur des standards fournis par l'architecte système (Systems architect – un bureau extérieur, en général). Le gestionnaire de contrat (Contract Manager Client) répartit les attentes du projet entre un ou plusieurs contrats qu'il gèrera depuis le l'AO jusqu'à la recette.
Du contracté (BE ou constructeur)	Le contracté exécute le contrat, de la conception à la réalisation finale et la remise de toutes les documentations sur les travaux faits et l'état de livraison de l'infrastructure.

Un projet qui examine les scénarios de gestion et identifie les échanges entre acteurs

Sur la base d'une telle structure, le projet V-CON :

- Examine les principaux scénarios de gestion.
- Identifie les échanges entre les acteurs précités à toutes les étapes des scénarios.

Une structure de gestion plus large, mieux connue en France

Les schémas des figures 2a à 2c proposent une structure de gestion plus large, mieux connue en France. Sont distingués par souci de lisibilité :

- Le cas des réseaux publics.
- Celui des réseaux concédés, et dans ce second cas, l'introduction des notions d'appel à variantes et de marché de conception-construction.

Les rôles et fonctions de chaque acteur basés sur ces schémas

Sur la base de ces schémas, on peut essayer de préciser les rôles et fonctions de chaque acteur. Les relations purement financières ne sont pas restituées sur ces schémas.

En même temps, on peut, assez simplement, poser les contrats, internes (public) ou externes (privé), qui régissent leurs relations et donc les échanges de données entre ces acteurs. La maquette numérique doit venir à l'appui de ces contrats.

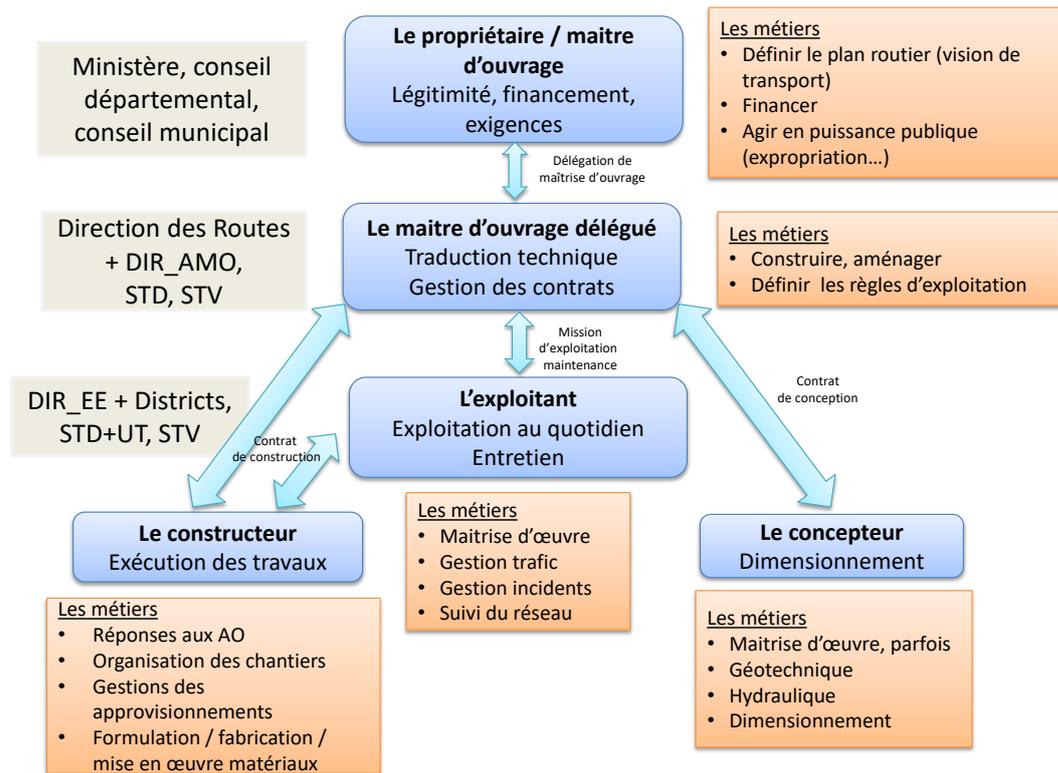


Figure 2a – Structure de la gestion des infrastructures routières en France (réseaux publics)

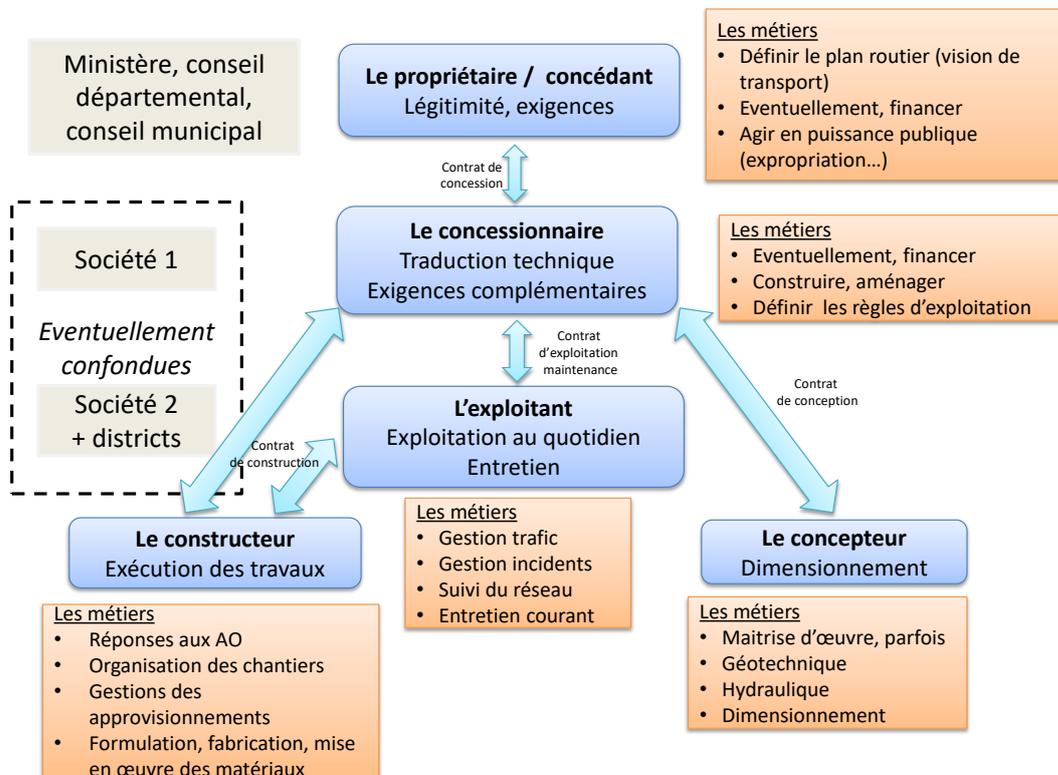


Figure 2b – Structure de la gestion des infrastructures routières en France (réseaux concédés)

3.1 Visions d'ensemble des acteurs | Une structure de gestion plus large, mieux connue en France

Une structure un peu plus complexe dans une notion de variante ou de conception / réalisation

Cette structure est toutefois un peu plus (ou moins, selon le cas) complexe lorsque le concessionnaire ou le maître d'ouvrage délégué introduit la notion de variante ou de conception / réalisation. Dans ce cas, les métiers du constructeur peuvent intégrer ceux du concepteur. Le schéma précédent est alors légèrement modifié pour s'inscrire dans la figure 2c, ci-après.

Chaque réseau est un cas particulier

Au-delà des cas analysés, et traduits par ces figures, il convient de se rappeler qu'à ce niveau, chaque réseau est un cas particulier qui devrait faire l'objet de sa propre description. L'objectif de ce paragraphe doit cependant rester la recherche d'une vision et d'un langage partagés. Ils viennent à l'appui de la conception d'une maquette numérique assez générale pour représenter les flux d'informations circulant dans ces structures et ainsi les faciliter. Il n'est pas de recenser et de décrire fidèlement toutes les possibilités existantes, ce qui conduirait à l'inverse de l'objectif recherché.

L'entreprise qui intervient n'est pas celle qui a construit le réseau ou l'ouvrage

Un autre point mérite d'être pris en considération. L'entreprise qui va intervenir pour effectuer des opérations d'entretien n'est pas nécessairement – et bien souvent, n'est pas – celle qui a construit le réseau ou l'ouvrage. Ainsi, le schéma 2c peut fort bien s'appliquer à la construction d'une partie de réseau, alors que c'est le schéma 2b qui s'applique pour certaines opérations d'entretien.

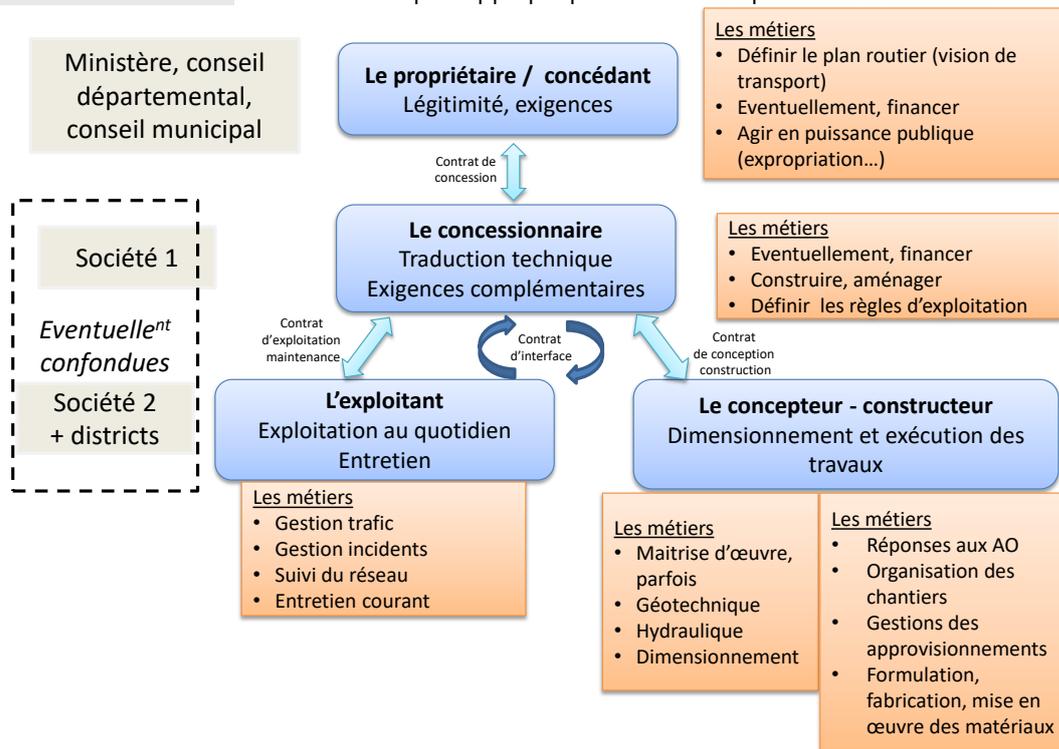


Figure 2c – Structure de la gestion des infrastructures routières en France (réseaux concédés)

3.2. Le propriétaire (= Maître d'ouvrage / Concédant)

Une collectivité publique propriétaire, le cas le plus fréquent en France

Le propriétaire d'un réseau routier est soit une collectivité publique, soit une entité privée (forestier, lotisseur...). Nous nous intéressons ici au premier cas, de très loin le plus fréquent dans notre pays et dans les pays proches.

Le propriétaire représente une population

Le propriétaire représente une population (individus, constructeurs, etc.) qui est susceptible d'utiliser, de subir et de financer les moyens de transport, notamment la Route. À ce titre, cette population a des attentes, actuelles et futures, qu'exprime au mieux le propriétaire. Celui doit donc assumer plusieurs fonctions (métiers) :

1. Assurer, à court, moyen et long termes, la satisfaction des besoins de transport de la population qu'il représente, en s'assurant que les infrastructures qui permettent cette satisfaction fonctionnent au mieux. Ce « au mieux » peut être fixé en « niveaux de service ».
2. Produire une vision d'ensemble du transport dans la collectivité qu'il représente, et la décliner en « Plans » concernant tous les moyens de transport, dont la Route. Ces « Plans » comportent des perspectives de développement cohérentes avec les aspirations prévisibles de la population, ou les insatisfactions qu'elle exprime. Le propriétaire doit organiser la réalisation de ces perspectives.
3. Le propriétaire doit en particulier organiser le financement du maintien et du développement des infrastructures de transport. Il mobilise les fonds nécessaires auprès de la population concernée soit par lui-même, soit par le biais d'un acteur qu'il contrôle (concessionnaire, par exemple). Ce choix est un acte politique.
4. Le propriétaire, en ce qu'il peut agir en puissance publique, est à même de conduire les procédures administratives nécessaires à l'exécution des actions découlant des fonctions précédentes (expropriation, fermetures d'accès, de voies, etc.).

Le propriétaire confie ses fonctions pour les mener à bien

Pour mener à bien ses fonctions, le propriétaire est en général amené à les confier, tout ou partie :

- Soit à une organisation un service qui relève directement de lui via une autorité hiérarchique.
- Soit à un autre acteur économique, d'économie mixte ou privée via un contrat de concession.

Si la nature du « contrat » entre le propriétaire et le gestionnaire varie entre ces deux cas, son contenu, la nature des informations qui doivent être échangées entre eux est sensiblement la même.

Informations (non exhaustif)	Venant de	Type de textes	Allant vers	Type de textes	Réf.
En entrée : Les attentes de la population au sens large	Population (via des enquêtes)	Dossiers d'enquête			
En cours : Les insatisfactions de la population	Population (réclamations)	Main courante ¹			
En sortie : Contrats de concession + Dossiers : Ouvrages à construire, contexte et entrants, niveaux de service exigés (durant et à la fin de la concession)			Gestionnaire : Concessionnaire Maître d'ouvrage délégué	Contrats de concession, dossiers Notes de service, dossiers	

¹ On appelle ici « main courante » l'ensemble des documents provenant des différents acteurs pour faire part de leurs remarques, observations et plaintes, formulées durant la vie de l'infrastructure.

3.3. Le gestionnaire (= Maître d'ouvrage délégué / concessionnaire)

Un service du propriétaire ou une société privée concessionnaire

Le gestionnaire est :

- Soit un service du propriétaire : par exemple, la DR, les STD, STV.
- Soit une société privée concessionnaire.

Le rôle du concessionnaire

Le rôle du concessionnaire est de :

- Traduire les exigences de service et les Plans de développement des infrastructures produits par le propriétaire en une politique organisée de construction, d'aménagement et d'entretien.
- Mettre en œuvre celle-ci.

Ses fonctions, ses métiers

Pour l'essentiel, ses fonctions, ses métiers, sont :

- Fixer une politique d'exploitation des infrastructures existantes permettant de respecter les niveaux de service fixés par le propriétaire.
- Fixer une politique de construction (élargissement de l'existant, nouvelles infrastructures, nouveaux axes) traduisant les Plans de développement du propriétaire ; gérer les contrats qui découlent de sa mise en application (conception et travaux neufs y compris renforcement).
- Fixer une politique d'entretien (courant et périodique) des infrastructures existantes permettant de respecter les niveaux de service fixés par le propriétaire.
- Si le propriétaire lui en a transféré la charge, rechercher les financements à court (emprunts) et long termes (péages, redevances) des actions découlant des fonctions précédentes. Le concessionnaire peut avoir à bâtir un modèle financier devant être validé par le propriétaire.

Informations (non exhaustif)	Venant de	Type de textes	Allant vers	Type de textes	Réf.
En entrée : Contrats de concession + Dossiers : Ouvrages à construire, contexte et entrants, niveaux de service exigés (durant et à la fin de la concession)	Propriétaire	Contrats de concession, dossiers Notes de service, dossiers			
En sortie : Hypothèses de fonct ^{nt2} Modèle financier Politique d'exploitation et d'entretien Politique de développement			<ul style="list-style-type: none"> • Financeur(s) • Exploitant • Concepteur • Constructeur 	<ul style="list-style-type: none"> • Conventions de financement • Contrats d'exploit. et d'entretien • Exigences de conception • Spécifications constructives 	

² Les hypothèses de fonctionnement sont celles que le gestionnaire a prises en compte dans son plan financier, notamment sur le trafic, les gabarits, les conditions climatiques (risques)

3.4. L'exploitant

L'exploitant a 2 métiers

Dans la suite, nous posons comme hypothèse que l'exploitant a essentiellement deux métiers :

- L'exploitation proprement dite, i.e. la gestion du trafic et des mesures permettant son écoulement dans les meilleures conditions.
- La gestion de l'entretien des chaussées. Le mot entretien étant pris dans un sens très large incluant l'entretien, le renforcement, la réhabilitation. Cette dernière se distingue ici du renforcement en ce qu'elle inclut des opérations sur la géométrie de la chaussée (élargissement, rectification...).

4 types de considérations à l'origine des opérations

À l'origine des opérations d'entretien se trouvent quatre types de considérations :

- Celles sur l'état actuel ou prévisionnel des chaussées (état structurel, état de surface...); on conçoit donc que l'exploitant soit amené à travailler sur des données d'état des chaussées³.
- Celles sur l'état actuel ou prévisionnel des sollicitations qui s'y appliquent (trafic, climat, durcissement de la réglementation sur l'environnement...); l'exploitant travaille sur des données de trafic actuel et prévisionnel, climatiques, réglementaires.
- Celles sur le progrès des connaissances (identification de l'aspect nuisible, voire dangereux, de certains matériaux de certains impacts...). La plupart des exploitants intègrent cet aspect lorsqu'il s'impose à eux sous forme de directives et de normes, mais certains anticipent en fonction de leur propre expérience et/ou expertise.
- Les objectifs de gestion des infrastructures, exprimées (par le gestionnaire) sous forme d'exigences.

Des spécifications techniques transmises au concepteur ou aux constructeurs

En sortie de ce processus, l'exploitant produit des spécifications techniques qui sont transmises :

- Au concepteur : travaux lourds et/ou coûteux, sur la structure, nécessitant un dimensionnement.
- Ou directement aux constructeurs : travaux plus conventionnels et/ou peu coûteux, sur la surface.

S'agissant du concepteur, l'exploitant doit lui donner les spécifications de gabarit et de trafic, éventuellement des informations sur sa stratégie d'entretien ultérieure (construction progressive, par tranche...).

S'agissant du constructeur, l'exploitant lui définit les zones sur lesquelles il doit intervenir et la nature des travaux à faire ou les résultats à obtenir⁴.

³ Notons que ces informations sont traitées par confrontation aux exigences imposées à l'exploitant par le gestionnaire.

⁴ L'exploitant passe directement des contrats avec (les concepteurs et) les constructeurs lorsqu'il s'agit d'opérations entrant dans son champ de compétence, c'est-à-dire d'entretien ou d'opération peu coûteuse. Ces contrats sont plutôt passés par le gestionnaire lorsqu'il s'agit de travaux neufs, si celui-ci à conserver cette fonction, ou d'opération lourde donc très coûteuse.

3.4 L'exploitant

Une analyse permettant d'orienter la recherche des textes

Cette analyse permet d'orienter la recherche des textes qui permet aujourd'hui de structurer cette partie du modèle de données. On trouve en annexes F :

- Une liste structurée, mais non exhaustive.
- Des informations entrant dans la composition des objectifs d'entretien.
- Des hypothèses de fonctionnement.
- Des états de chaussées.
- Etc.

Informations (non exhaustif)	Venant de	Type de textes	Allant vers	Type de textes	Réf.
En entrée : Politique d'exploitation et d'entretien Politique de développement Nature, état des chaussées ⁵ État du trafic Prévisions climatiques	Le gestionnaire En interne L'auscultation Études de trafic, économiques... Services spécialisés	Contrats, circulaires Règle ^{nts} , normes Synoptique, BDR Normes, méthodes Méthodes ? Étude météo			C1, C2 M1 à M10 et N1 à N5
En cours : Gestion de l'entretien	Littérature	Guides			G4 à G6
En sortie : Spécifications structure (existant, gabarit, trafic, seuil, durée de vie, risque...) Spécifications travaux Démarrage des travaux ^x			(Concepteur) Constructeur	(Dossiers) Fascicules, doc. Réglementaires OS	

⁵ Actuel et prévisible

3.5. Le concepteur

Les deux cas de sollicitation du concepteur

Le concepteur est sollicité dans deux cas :

- Le plus souvent par le gestionnaire, lorsque celui-ci décide de lancer des travaux neufs, pour développer le réseau.
- Parfois, par l'exploitant, lorsqu'il désire faire :
 - Des travaux d'entretien lourds sur la structure de ses chaussées (mais l'exploitant peut dimensionner lui-même ces travaux).
 - voire des travaux de surface de grande extension.

Un rôle au-delà du simple calcul de dimensionnement

Le rôle du concepteur, en particulier dans le cas d'étude de travaux neufs, va au-delà du simple calcul de dimensionnement. On y intègre les études géotechniques et les études hydrauliques chaque fois que nécessaire.

Les données de travail du concepteur

Le concepteur travaille sur les données suivantes :

- Le trafic, y compris son agressivité, sa distribution entre voies, etc.
- Le sol, sa nature, sa portance, ses propriétés (gélif susceptible aux variations hydriques...).
- Le contexte (déblai, remblai, TN bassin versant).
- Le climat, la rudesse des hivers l'importance des précipitations...
- Les ressources en matériaux dans l'environnement du projet.
- Éventuellement, les installations de production de matériaux.

La production de toutes les informations sur les composants de la chaussée ou du renforcement

Outre les profils en travers, il produit toutes les informations sur les composants de la chaussée ou du renforcement : nature et épaisseurs des couches, éléments de drainage... Ces données, validées par l'exploitant, sont transmises au constructeur chargé de l'exécution.

Là encore, cette analyse permet d'orienter la recherche des textes qui permet aujourd'hui de structurer cette partie du modèle de données.

Informations (non exhaustif)	Venant de	Type de textes	Allant vers	Type de textes	Réf.
En entrée : Spécifications structure (gabarit, trafic, durée de vie, risque...) : Existante Ou à créer	Exploitant Gestionnaire	Exigences de conception			G1...
En cours : Catalogues structure	Littérature	Catalogues			G1, G2
En sortie : Dossier d'exécution			Le constructeur (via le gestionnaire ou l'exploitant)	Dossier d'exécution Structures requises Spécifs matériaux Autres spécifs.	

3.6. Le constructeur

Des fonctions assez vastes

Les fonctions dévolues au constructeur, et donc les métiers qu'il coordonne, sont assez vastes. Le constructeur doit bâtir des projets en réponse aux appels d'offres (AO) lancés par le gestionnaire (travaux neufs) ou l'exploitant (entretien). Une fois le projet retenu, il doit le planifier et l'organiser.

Une organisation de chantier nécessitant l'anticipation de nombreuses activités

L'organisation du chantier est en soi, une vaste tâche, qui nécessite de gérer par anticipation de nombreuses activités :

- Gestion du marché (contractualisation, appel de fonds...).
- Identification des ressources (besoins et disponibilités) en matériaux.
- Identification des ressources en matériel.
- Identification des ressources en compétences.
- Construction du planning global d'exécution, lorsque celui-ci n'a pas été fixé dans le marché.
- Définition et organisation des emprises sur le domaine de l'exploitant.
- Choix du mode de travaux (nuit ? basculement ? déviation ? alternat ? etc.) lorsque celui-ci est laissé libre par l'exploitant, ce qui n'est pas le cas le plus fréquent.
- Construction du planning journalier d'exécution.
- Implantation des postes dans les emprises.
- Flux de matériaux (origine, destination, quantité, planning, moyen de transport...).
- Anticipation des impacts sur les usagers et les riverains ; gestion prévisionnelle.
- Informations aux usagers et aux riverains.
- Etc.

Mise en œuvre des mesures prévues et gestion des impondérables

L'exécution du chantier consiste à mettre en œuvre les mesures prévues, et à gérer les impondérables. Ceci implique :

- La gestion du marché (facturation à l'exploitant, commandes aux fournisseurs...).
- L'approvisionnement des matériaux bruts (granulats, liants...).
- La production des matériaux élaborés (GNT, GH, GB, etc.).
- Le transport des matériaux jusqu'au chantier.
- La mise en œuvre des matériaux.
- Les finitions : équipements de sécurité, signalisation H / V, mise à niveau des accotements...
- Chaque fois qu'il surgit, l'impondérable doit faire l'objet d'une révision de l'organisation du chantier, soit légère, brève et immédiate, soit plus lourde.

3.6 Le constructeur

Phases à l'issue du chantier

À l'issue du chantier, le constructeur remet l'ouvrage réalisé à l'exploitant. Là encore, plusieurs phases sont enchaînées :

- Le repliement de tous les matériels, matériaux et autres installations temporaires, et le nettoyage du chantier.
- La recette de l'ouvrage, consistant à exécuter les contrôles et essais prévus au cahier de recette (incluant le récolement).
- La (re)mise en circulation de l'ouvrage.
- Pour les plus grosses réalisations, la remise au gestionnaire, qui le transmet à l'exploitant d'un bilan du chantier. C'est notamment le cas sous la forme d'un ensemble de données comportant les caractéristiques géométriques et mécaniques détaillées de l'ouvrage tel qu'il a été réalisé (caractéristiques qui peuvent différer de celles prévues).
- La facturation finale.

Informations (non exhaustif)	Venant de	Type de textes	Allant vers	Type de textes	Réf.
En entrée : Dossier d'exécution Structures requises Spécifs matériaux Autres spécifs. Ordre de démarrage	Concepteur (via le Gestionnaire ou l'Exploitant) Gestionnaire ou Exploitant	Fascicules, doc. réglementaires Dossier d'exécution Ordre de Service			
En cours : Dossiers de ressources	Constructeur				
En sortie : Recette exécutée Mise en service			Exploitant	Dossier de recette Bilan de chantier	

4. LES DONNEES ECHANGEES

Un échange d'informations permanent

Les acteurs de la gestion des infrastructures routières échangent en permanence des informations, pour parvenir à leurs objectifs en collaborant. On conçoit que ces informations sont toutes relatives, de façon plus ou moins proche, plus ou moins directe, avec les infrastructures. Elles concernent des composants, des propriétés, des attributs de ces objets.

L'organisation de la circulation de ces informations

Pour organiser la circulation de ces informations, on doit définir une structure de données :

- Assez universelle pour répondre aux besoins de tous les acteurs.
- Assez flexible pour s'adapter à ces besoins, et notamment à leur niveau de détail selon les acteurs concernés.

Une structure de données fondée sur le concept d'objet

Il paraît assez pertinent de fonder la structure de données sur le concept d'objet, tel que schématisé dans la figure 3.

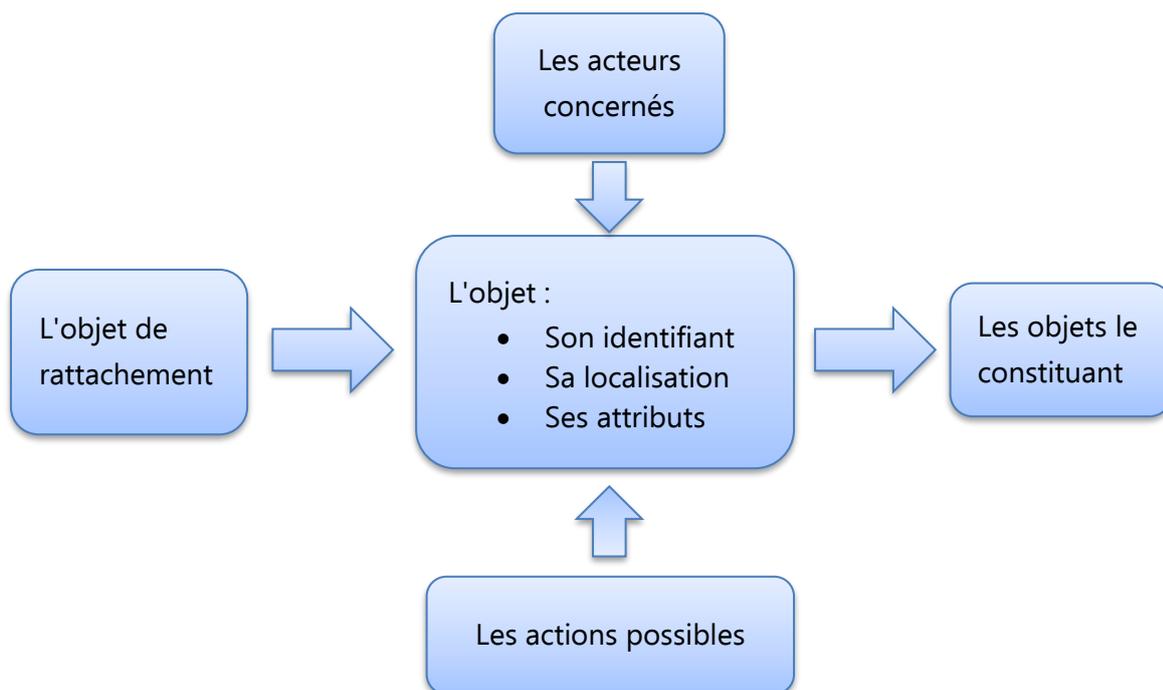


Figure 3 – Concept d'objet routier

3.6 Le constructeur

Plusieurs angles pour illustrer ce concept

Pour illustrer ce concept, on peut l'examiner sous différents angles :

- L'angle hiérarchique.
- L'angle qualificatif.
- L'angle des actions.
- L'angle des acteurs.

L'angle hiérarchique

Pour illustrer ce concept, on peut l'examiner sous différents angles. L'angle « hiérarchique » traduit l'imbrication des objets.

- Les réseaux routiers (unité de propriétaire) sont composés.
- De routes (unité politico-administrative) qui sont composées.
- De sections routières (unité fonctionnelle et/ou climatique) qui sont composées.
- De tronçons routiers (unité de conception - réalisation initiale) qui sont composés.
- De segments routiers (unité de comportement ou d'état) qui sont composés.
- De profils routiers (unité de profil en travers) comportant :
 - Un déblai ou un remblai.
 - Une ou des chaussées.
 - Des accotements.
 - Des ouvrages de drainage.
 - Des ouvrages de protections.
 - Des ouvrages de sécurité d'usage...

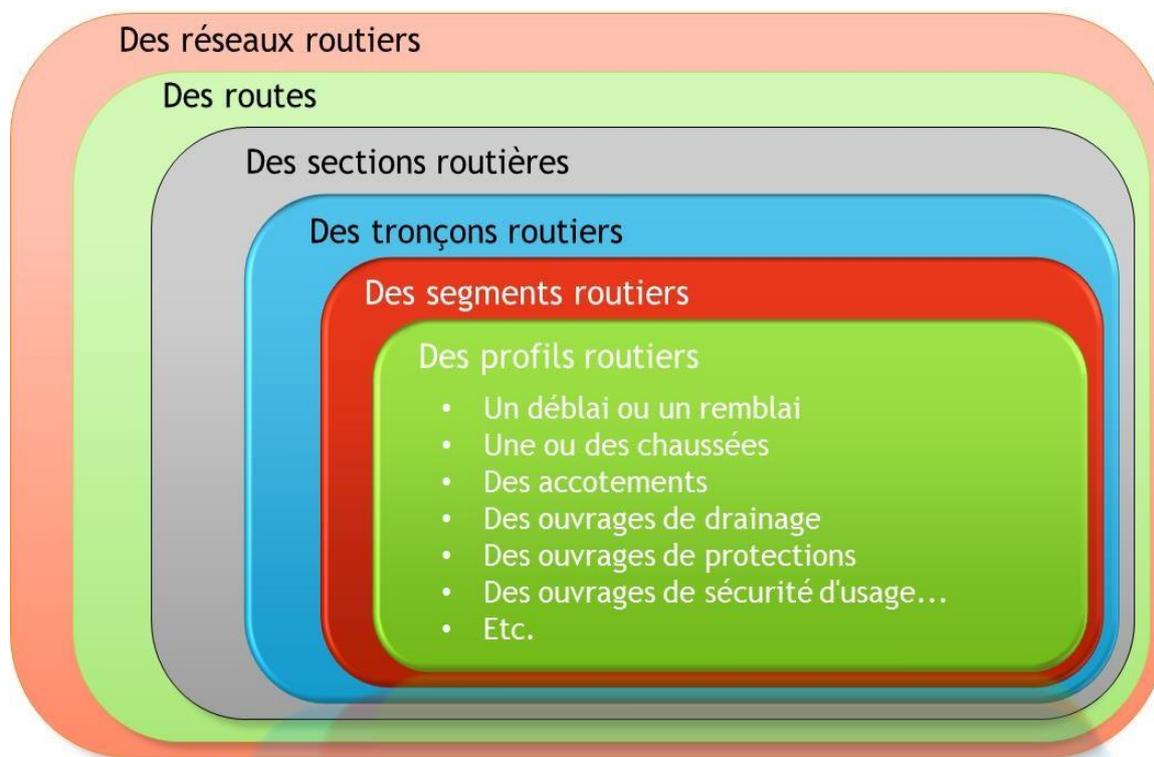


Figure 4 : illustration de cette vision de façon schématique

3.6 Le constructeur | Plusieurs angles pour illustrer ce concept

L'angle hiérarchique

On peut parfois prolonger la décomposition comme le fait le projet IfcRoads avec l'objet profil (cf. figure 5).

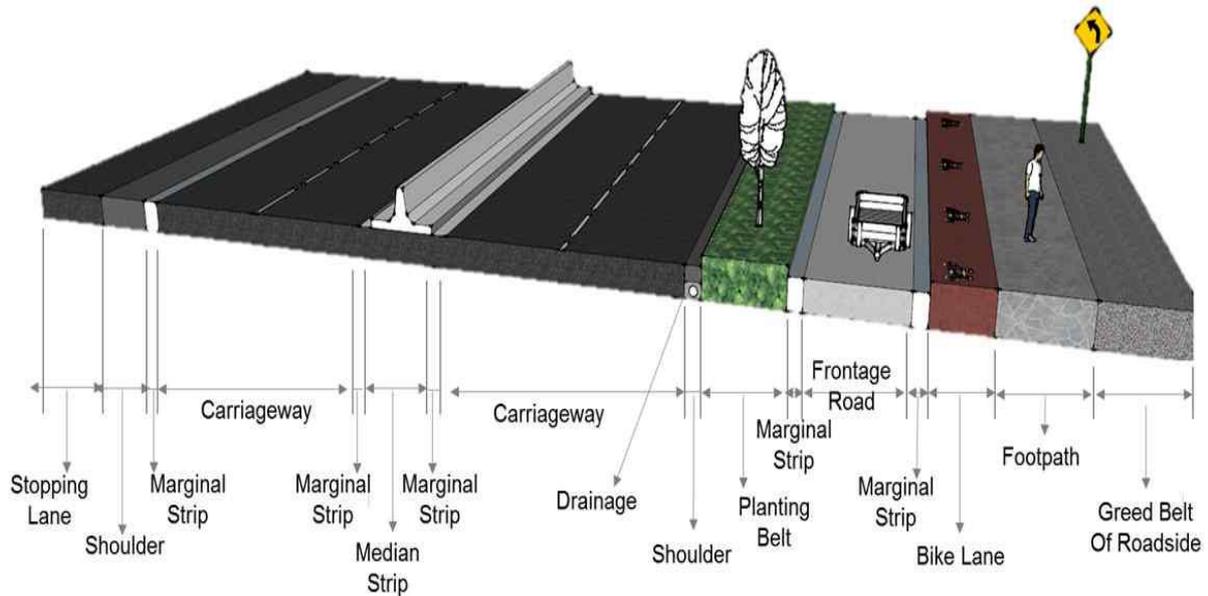


Figure 5 – Décomposition de l'objet profil en sous-objets (IfcRoads)

La chaussée elle-même est décomposée en couches⁶, chacune étant vu comme un objet :

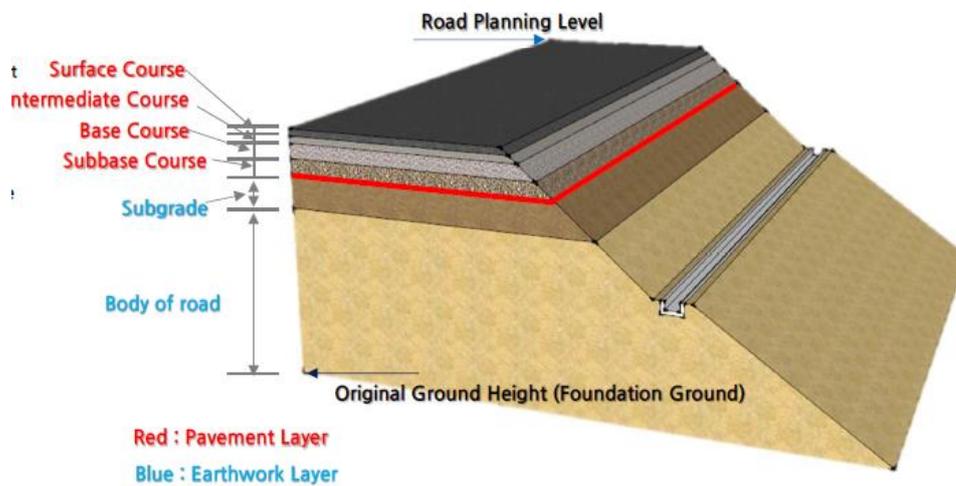


Figure 6 – Décomposition de l'objet chaussée ("carriageway") en sous-objet (IfcRoads)

⁶ La question de la décomposition d'une chaussée en voie, et d'une voie en couche, fait l'objet d'une discussion au sein du groupe de travail

3.6 Le constructeur | Plusieurs angles pour illustrer ce concept

L'angle qualificatif

Vu sous l'angle qualificatif, un objet est un ensemble d'attributs qui lui sont spécifiques (ils ne concernent ni le niveau d'objets inférieur ni le niveau supérieur) et le décrivent avec le bon niveau de détail. Donnons deux exemples.

- L'objet « route » est caractérisé par un début, une fin, un chemin et un identifiant administratif. Le trafic n'est pas un de ses attributs, mais l'attribut de l'objet de niveau inférieur « section routière ».
- L'objet « couche de chaussée » est décrit par sa position dans les strates de la chaussée, son épaisseur, son matériau, sa compacité, etc. Il est aussi décrit par sa date de mise en œuvre, voire par le trafic cumulé que cette couche de chaussée a subi depuis. La largeur de la couche n'est pas un de ses attributs, mais l'attribut de l'objet chaussée.

L'angle des actions

Vu sous l'angle des actions, un objet se prête à un certain nombre d'interventions. Par exemple, pour l'objet « section routière », on peut y faire :

- Une analyse de trafic : volume, composition, nature de véhicules, des frets, des trajets...
- Une étude de contournement : la fonction est reportée sur une section alternative construite ou à construire.
- Un changement d'affectation : transfert d'une catégorie dans une autre.
- Etc.

L'angle des acteurs

Enfin, vu sous l'angle des acteurs, on peut, par exemple, anticiper que les objets couche de chaussée, profil, segment routier n'intéressent pas le propriétaire, ni même le concessionnaire. Ceux-ci étant au contraire attentif aux objets « supérieurs » comme les réseaux, les routes ou les sections de route. Et si le concessionnaire emploie la notion de « section routière » dans ses échanges avec le propriétaire d'un côté, avec l'exploitant de l'autre, il ne met pas en œuvre les mêmes attributs, ou ne leur donne pas la même importance, dans ces deux types d'échange.

Une analyse à approfondir

Cette analyse de la structure des données routières est largement à approfondir. Elle est en même temps très importante pour concevoir la maquette numérique. En effet, c'est de sa bonne description que résulte en grande partie la réussite ou l'échec de la maquette.

5. LES PROCESSUS

5.1. Différents niveaux de processus

De nombreux processus de gestion d'une route

Les processus qui interviennent dans la gestion des infrastructures routières sont nombreux. Ils se positionnent à différents niveaux, font intervenir différents acteurs et portent sur des objets qui sont soit différents soit vus sous des angles différents. Ces processus sont fréquemment interconnectés. La figure 7, ci-dessous, essaie d'illustrer de façon concrète les processus qui interviennent dans la gestion de la vie d'une route.

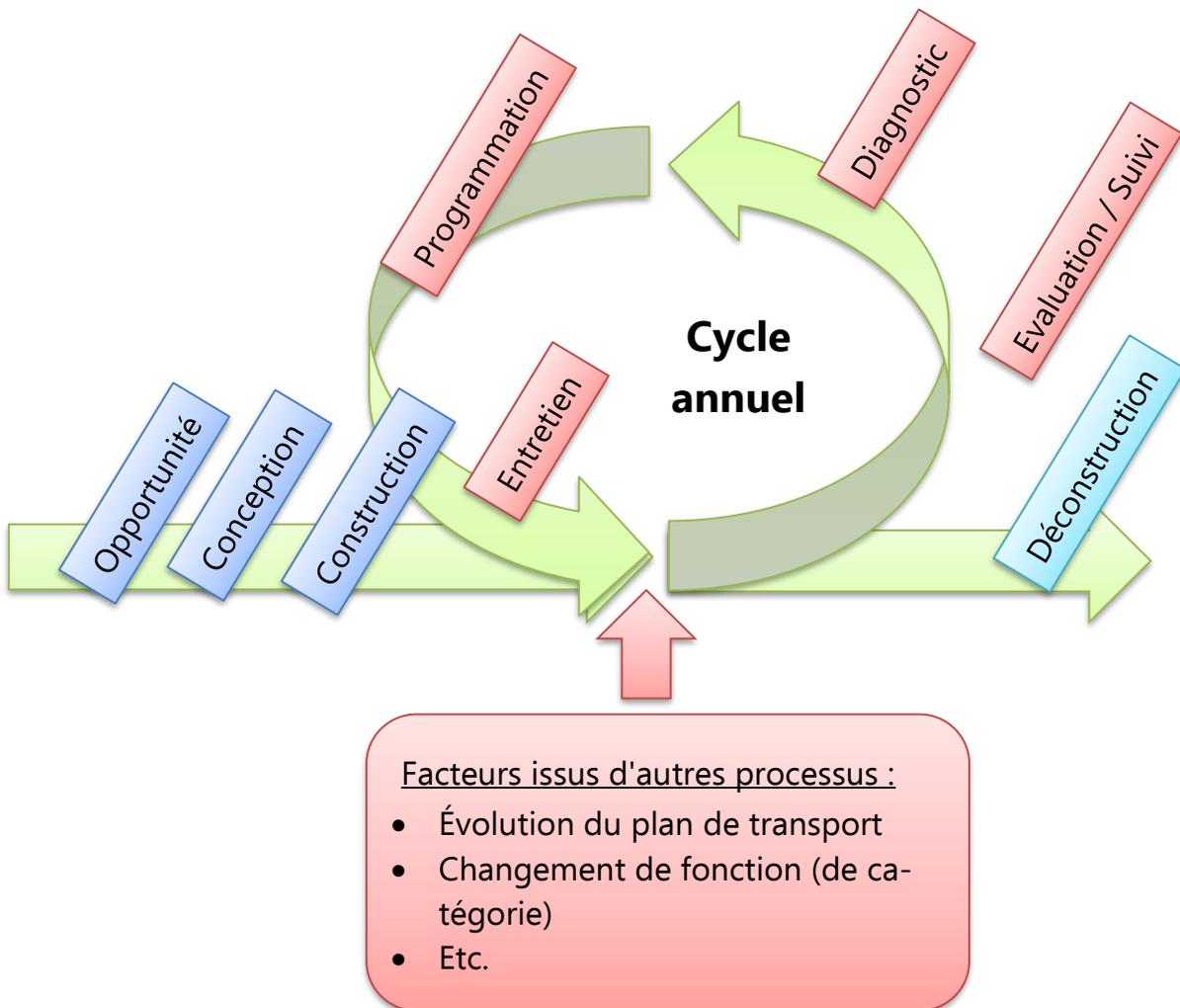


Figure 7 – Macro-processus dans la vie d'une route (illustration)

Des processus pouvant être regroupés en trois macro-processus

Ces processus sur la vie d'une route peuvent être regroupés en trois macro-processus :

- Réalisation initiale : Opportunité, Conception Construction.
- Vie de la route : Actualisation des fonctions, Évaluation / Suivi, Diagnostic Programmation et Entretien.
- Suppression : Déconstruction.

5.1 Différents niveaux de processus | De nombreux processus de gestion d'une route

Chaque processus peut être décomposé en sous-processus métier

À l'inverse, chaque processus peut être décomposé en sous-processus métier. Ainsi, le processus d'Évaluation / Suivi peut être décomposé en :

- Identification des niveaux de service conformes aux fonctions de la route.
- Recueil d'information sur l'état de la route.
- Calcul d'index qui expriment les performances de la route vis-à-vis des niveaux de service attendus.

Processus de gestion d'un réseau routier

Le tableau ci-dessous propose une liste des principaux macro-processus intervenant dans la gestion des infrastructures routières (au niveau d'un réseau routier), de leurs processus, et des sous-processus qu'ils coordonnent. Ce tableau ne prétend pas à l'exhaustivité.

Macro processus	Processus	Sous processus métier
Gestion d'un réseau routier	Actualisation périodique du plan de transport	Études prospectives socio-économiques, environnementales...
		Plan d'évolution à long terme des infrastructures de transport
		Projet d'évolution du réseau routier
	Actualisation périodique du plan de transport routier	Plan de création de nouvelles routes, y compris les choix de financement
		Révision des objectifs de niveaux de service des routes existantes
Création d'une nouvelle route	Conception	Formalisation du cahier des charges
		Études hydrologiques et géotechniques
		Étude de dimensionnement
		Préparation du dossier de réalisation
	Construction	Organisation du chantier (cf. § II.2.5)
		Réalisation du chantier (cf. § II.2.5)
	Mise en service	Recette immédiate (provisoire)
		Transfert des données de construction dans la base de données de gestion
		Ouverture au trafic
		Recette différée (finale)
Gestion d'une route existante	Actualisation des stratégies d'entretien	Détermination des stratégies conformes aux objectifs et aux moyens
		Révision éventuelle des objectifs ou des moyens
	Évaluation / Suivi	Formalisation du cahier des charges du recueil d'informations
		Exécution du recueil d'informations
		Intégration des informations dans la base de données routières
		Exploitation des informations pour identifier les sections non conformes
	Diagnostic des non-conformités	Identification des besoins d'entretien à partir de la base
		Confirmation / modification des techniques à mettre en œuvre
	Programmation de travaux	Mise en priorité des travaux – construction du programme annuel
		Rédaction des marchés
	Exécution des entretiens	Organisation du chantier (cf. § II.2.5)
		Réalisation du chantier (cf. § II.2.5)
		Recette

Macro processus	Processus	Sous processus métier
Suppression (transfert vers un autre réseau) d'une route existante	Définition de l'état de transfert	Négociations entre propriétaires
		Formalisation du cahier des charges du transfert
	Évaluation / Suivi	Formalisation du cahier des charges du recueil d'informations
		Exécution du recueil d'informations
		Intégration des informations dans la base de données routières
		Exploitation des informations pour identifier les sections non conformes
	Diagnostic des non-conformités	Identification des besoins d'entretien à partir de la base
		Confirmation / modification des techniques à mettre en œuvre
	Programmation de travaux	Mise en priorité des travaux – construction du programme annuel
		Rédaction des marchés
	Exécution des entretiens	Organisation du chantier (cf. § II.2.5)
		Réalisation du chantier (cf. § II.2.5)
		Recette
Exécution du transfert	--	

5.2. Acteurs, objets et processus

L'analyse des acteurs, objets et processus

Un résumé en trois propositions

Une analyse à approfondir

L'analyse des acteurs, objets et processus est introduite par les chapitres III, IV et V. Elle résulte de l'examen des productions de projets antérieurs aussi bien que d'une analyse de l'état actuel des activités de gestion de la route.

Elle peut être résumée par les trois propositions suivantes :

- Les acteurs échangent des données sur différents objets dans le cadre de différents processus ; ces acteurs peuvent avoir différentes fonctions.
- Les objets sont gérés / impactés par différents acteurs dans le cadre de différents processus. Ces objets, qui sont liés les uns aux autres (relations d'interaction ou d'appartenance) sont caractérisés par des attributs.
- Les processus sont les activités mêmes pour lesquels les acteurs échangent des données sur les objets. Ils sont décomposés en sous-processus, qui eux-mêmes peuvent être décomposés en tâches, etc.

Il convient sans aucun doute d'approfondir cette analyse dans le projet MINnD, pour qu'elle débouche sur une structure efficace de stockage et d'échange des informations routières entre les acteurs. À ce stade, toutefois, elle peut permettre d'étudier les solutions existantes (base de données, systèmes d'informations géographiques).

6. MAQUETTE NUMERIQUE - L'EXISTANT

Deux catégories de systèmes de stockage, de traitement et de restitution des données

Aujourd'hui, pratiquement tous les gestionnaires d'infrastructure routière utilisent des systèmes de stockage, de traitement et de restitution des données. Ceux-ci se classent en deux grandes catégories :

- Les bases de données routières.
- Les systèmes d'informations géographiques.

6.1. Les bases de données routières

Un bref historique

Une apparition des bases de données routières à la fin des années 70

Historiquement, les bases de données routières sont apparues les premières, à la fin des années 70. En France, le Ministère en charge de la gestion du réseau de routes nationales avait créé une base centralisée, la BDR. C'est dans cette BDR qu'était conservé l'ensemble des données recueillies sur le réseau national, principalement par des appareils à grand rendement (APL et déflectographes principalement).

L'apparition d'une nouvelle base de données à la fin des années 80

À partir de la fin des années 80, une nouvelle base fut mise en service, la base VISAGE. Fonctionnant sur ordinateur portable, elle avait l'avantage de pouvoir être installée aussi bien en services centraux que dans les DDE. Une procédure assez lourde (en l'absence d'internet qui n'existait pas encore) permettait de synchroniser le contenu des différentes bases, avec plus ou moins de succès.

Une base de données encore utilisée aujourd'hui

Ce réseau de base VISAGE est encore celui qui est utilisé sur le réseau routier national aujourd'hui. En effet, les projets visant à le remplacer par un développement interne (VISAGE 3) ou externe (GPER) n'ont pas abouti.

Spécificités techniques

Un référentiel linéaire

Sur le plan technique, le référentiel d'une base de données routière peut être conçu comme un ensemble de fils parallèles, chacun représentant une route de son début à sa fin. Pour cette raison, on parle de référentiel linéaire. À intervalle à peu près régulier, des événements dits « Point de Repère » (PR) sont accrochés à chaque fil, qui représente la position des bornes (aujourd'hui des plaquettes) physiquement implantées sur la route.

Toutes les informations sont localisées par rapport au référentiel

Dans une base de données routière, toutes les informations sont localisées par rapport au référentiel, c'est-à-dire par deux systèmes de coordonnées :

- L'abscisse cumulée, qui est la distance entre l'évènement et le début de la route auquel il est rattaché.
- Le PR + Abscisse (PRA) qui est formé du numéro du PR précédent l'évènement, et de la distance entre ce PR et l'évènement le long de la route.

Des informations repérées par rapport à une route

Il est donc important de noter que dans une base de données routière, toutes les informations sont nécessairement repérées par rapport à une route. Un évènement qui n'est pas rattaché à une route ne peut pas exister dans la base, sauf à le projeter sur l'une de ces routes, ou à le rattacher à un autre évènement qui, lui, est sur une route.

Toutes les informations sont tracées sur des cartes

Aujourd'hui, les bases de données routières modernes comportent toutes une description du chemin suivi par les routes, ce qui permet de tracer toutes les informations qu'elles contiennent sur des cartes. Cela permet également de recalculer automatiquement les données recueillies par des appareils munis de GPS dans le référentiel de la base qui, lui, est resté linéaire.

6.1 Les bases de données routières

Qui les utilisent et pour faire quoi ?

« Gérer une route existante »

« Suppression d'une route existante »

Tentative de création d'une structure de base de données routière dans les années 90

Aujourd'hui, les bases de données routières sont essentiellement utilisées par les exploitants pour gérer l'entretien de leurs infrastructures. Elles interviennent donc surtout dans le processus « Gérer une route existante ».

Il est arrivé qu'à la demande du propriétaire qui voulait déclasser certaines de ses routes vers un autre propriétaire (décentralisation de 2006, par exemple), les bases de données routières servent à évaluer l'état des routes à déclasser et à programmer les travaux nécessaires préalables aux déclassements. À ce titre, elles intervenaient donc dans le processus « Suppression d'une route existante ».

Une initiative avait été lancée au début des années 90 pour créer une structure de base de données routière. Elle serait spécifiquement orientée vers la construction de nouvelles chaussées, mais son contenu pourrait être automatiquement transféré, lors de la mise en service de la route, dans la base de données de gestion du réseau existant. Cette action n'a pas abouti, sans pour autant avoir identifié de vraies difficultés techniques.

6.2. Les systèmes d'informations géographiques

Bref historique

Les SIG, des logiciels de stockage et de restitution de données

L'utilisation des SIG par les Conseils généraux

Une alternative à la base de données routière...

... sans que cette affirmation puisse être confirmée

Les Systèmes d'Informations Géographiques sont essentiellement des logiciels de stockage et de restitution de données. Ils permettent de gérer :

- Des réseaux linéaires : voies ferrées, canaux, routes, chemin...
- Ou des informations de type surfacique : cadastre, parcs...

Dès les années 90, certains Conseils généraux se sont dotés d'un SIG. Aujourd'hui, près de la moitié des départements français disposent d'un tel système, et l'utilisent pour gérer de nombreuses thématiques mettant en œuvre des informations géolocalisées.

Initialement, les SIG n'ont pas été développés pour gérer les routes, même si cette application est apparue assez rapidement. Les fournisseurs de SIG en France poussent en avant ce type d'application et présentent le SIG comme une alternative à la base de données routière.

On peut toutefois affirmer qu'il n'y a nulle part un recul suffisant pour confirmer cette assertion. Certains départements qui étaient parmi les premiers engagés dans cette voie reviennent vers une cohabitation des deux types de systèmes.

6.2 Les systèmes d'informations géographiques

Spécificités techniques**La localisation des données dans un référentiel**

Dans un système d'informations géographiques, toutes les données sont localisées dans un référentiel [X, Y] voire [X, Y, Z]. Ainsi, tout objet est repéré par sa localisation précise à la surface de la Terre, et ceci sans rapport établi avec les réseaux routiers. À l'extrême, on peut affirmer que tout objet peut être localisé et donc introduit et géré dans un SIG.

Une information exploitée indirectement

À l'inverse d'une base de données routière dans laquelle les données relevées en continu sur une section de route :

- sont directement identifiées comme étant contiguës sur le même objet,
- et peuvent faire plus aisément l'objet de traitement exploitant cette contiguïté, le SIG n'exploite qu'indirectement cette information, ce qui pénalise ses analyses.

Par ailleurs, le SIG étant destiné à de nombreuses applications, il comporte en général beaucoup de couches, beaucoup de données. Cela alourdit autant sa gestion (en tant que système informatique) que ses calculs.

La modélisation des interactions entre les routes et les autres éléments

En revanche, dans un SIG, les données routières forment une couche d'informations, comme il en existe d'autres (relief, hydrologie, zones d'urbanisation, parcelles, réseau d'établissements...). Il est donc possible de modéliser des interactions entre les routes et les autres éléments d'environnement ou de contexte. En outre, les SIG disposent de fonctions de croisement géographique qui facilitent et accélèrent ce type d'exploitation.

Qui les utilisent et pourquoi faire ?**Une utilisation par les CG au niveau des DS**

Parmi les administrations françaises disposant d'une compétence routière, les SIG sont principalement utilisés par les Conseil Généraux (CG), au niveau de la Direction des Services (DS). Ils répondent en effet, comme on l'a dit, aux problématiques de différents services de ces CG, dont certaines, et certaines seulement, concernent les routes.

Un outil très utile

Outre les activités de gestion de bâtiments publics, de cadastre, de transport fluviaux ou ferroviaires... les SIG aident à mettre en œuvre la définition des circuits de ramassage, scolaire ou autres, des autorisations de voirie, des plans d'accès, etc. En d'autres termes, c'est un outil qui peut être très utile dans la définition et l'actualisation de plans de transport, notamment routier. Pour cette raison, dans notre analyse, c'est donc aux besoins des propriétaires que les SIG répondent en priorité.

6.3. Complémentarité des BDR et des SIG. Place d'une MN

Les outils de gestion de données actuels

La figure 7 propose une illustration du positionnement respectif d'une base de données routière et d'un système d'information géographique dans les processus de gestion des infrastructures routières.

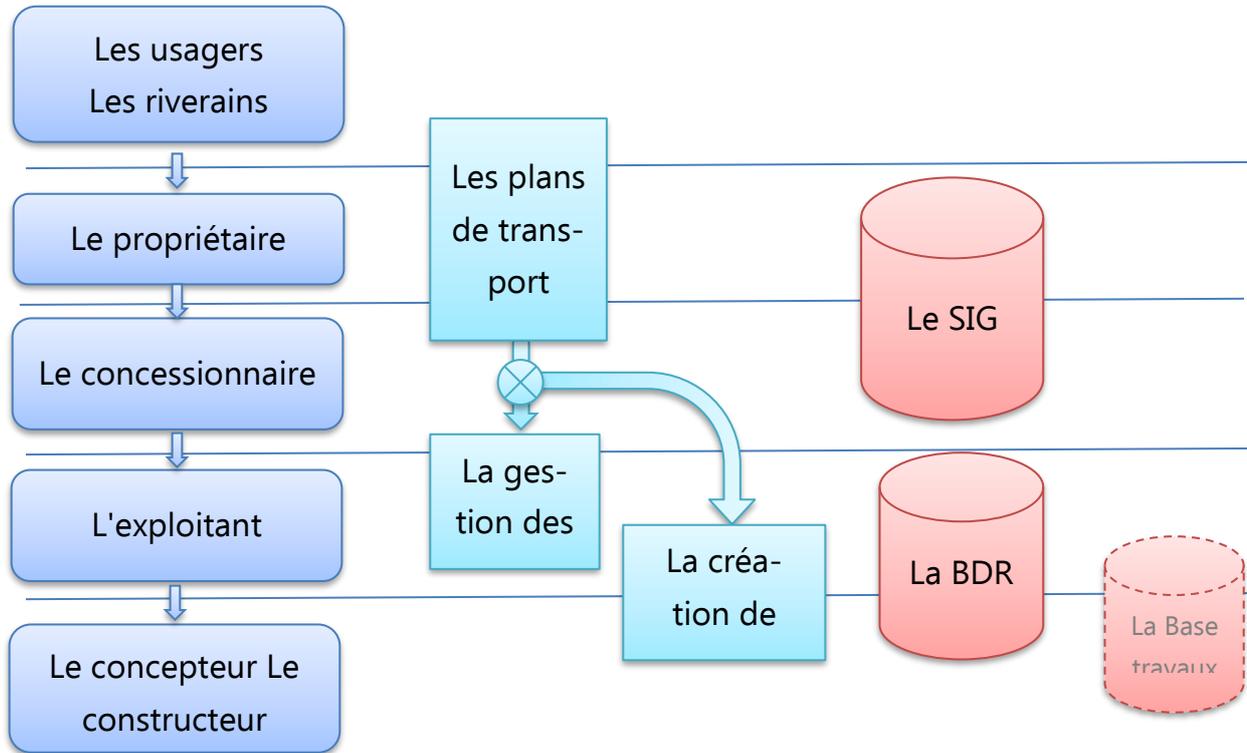


Figure 8 – Les outils de gestion de données actuels, par acteurs et macro-processus

Une évolution nécessaire

Cette figure permet de mieux comprendre pourquoi les CG qui s'étaient engagés dans une voie « tout SIG » sont maintenant confrontés à une évolution nécessaire, à un retour partiel vers les bases de données. Il convient toutefois de préciser que cette nouvelle répartition des rôles (entre les outils) ne fonctionne que s'il y a cohérence entre le référentiel du SIG et celui de la BDR.

7. TERMINOLOGIE

Une grande rigueur est exigée dans la terminologie

Tous les échanges de données exigent une grande rigueur dans la terminologie. Il convient, en effet :

- Que tous les acteurs utilisant une donnée lui confèrent exactement la même définition.
- Qu'ils considèrent qu'elle qualifie ou quantifie le même attribut d'un même objet.

Cela signifie donc que sont précisément définis et décrits :

- Les objets.
- Leurs attributs et leurs valeurs ou chacune de leurs occurrences.

Un référentiel de terminologie

Il existe des documents qui contribuent à un référentiel de terminologie. La liste donnée dans le tableau 1 ci-dessous n'a pas l'ambition d'être exhaustive. Elle permet de constituer un cadre documentaire destiné à être alimenté par les partenaires du projet MINnD. Bien qu'ils donnent des définitions et s'apparentent ainsi à des sources terminologiques, les catalogues de dégradations sont cités avec les méthodes de relevé dont ils constituent une extension naturelle et inséparable.

Titre du document	Forme	Type de contenu	Origine
Dictionnaire de l'AIPCR	Accès électronique	Tous les termes se rattachant à la gestion de la route	AIPCR (Association Mondiale de la Route)
Dictionnaire de l'entretien routier	Document papier	Tous les termes se rattachant à l'entretien routier	Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transport et du Tourisme – Observatoire National de la Route
NF P 98-080	Norme	Chaussées-Terrassement – Partie 1 - Terminologie relative au calcul de dimensionnement de chaussée	AFNOR
Guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme GTR (voir aussi cf. NF P 11-300)	Guide et Norme	Tous les termes se rattachant aux terrassements	Syndicat Professionnel des terrassiers de France

Tableau I - Sources de terminologie

8. ANNEXES

8.1. Annexe A : Documentation propriétaire

Domaines	Type de contenu	Données	Doc de référence
A.1 En entrée			
Infrastructures à créer	Perspectives socio-économiques	Besoins de transport, volumes...	
	Études de rentabilité	Coût comparatif de transport	
A.2 En cours			
Infrastructures existantes	Satisfaction parties prenantes	Enquêtes	
	Relevés d'incidents - plaintes	Main courante	
A.3 En sortie			
Infrastructures existantes	Niveaux de service à assurer	Temps de trajet, sécurité confort, respect environnement	
Plans de transport	Capacité des axes, nouveaux axes, futurs niveaux de service	Tracé (zones desservies)	
Contrats de concession	Rôle, moyens et objectifs du concessionnaire	Liaisons concédées Fonctions concédées Moyens attribués	Contrat de concession type

8.2. Annexe B : Documentation gestionnaire

Domaines	Type de contenu	Données	Doc de référence
B.1 En entrée			
Infrastructures existantes	Niveaux de service à assurer	Temps de trajet, sécurité confort, respect environnement	
Plans de transport	Capacité des axes, nouveaux axes, futurs niveaux de service	Tracé (zones desservies)	
Contrats de concession	Rôle, moyens et objectifs du concessionnaire	Liaisons concédées Fonctions concédées Moyens attribués	Contrat de concession type
B.2 En cours			
B.3 En sortie			
Infrastructures existantes	Politique d'exploitation	???	
	Politique d'entretien	Objectifs et moyens d'entretien	
Infrastructures à créer	Avant-projet sommaire	Tracé, profil en long...	APS
	Avant-projet détaillé		APD
	Projet		

8.3. Annexe C : Documentation exploitant

Pour plus de détails sur les entrées / sorties, voir annexe F.3

Domaines	Type de contenu	Données	Doc de référence
C.1 En entrée			
Nature des chaussées	Description des profils en travers	<u>Par profil</u> : Géométrie chaussée, accotement, fossé	Base de données (BDR) exploitant
	Description des profils en long	<u>Par profil</u> : Élévation	
	Description des couches de depuis le sol, inclus	<u>Par couche</u> : Épaisseur Nature matériau Caractéristiques matériau	BDR exploitant Normes [N11] à [N33]
État des chaussées	Dégradations de surface	Déformations Fissurations Arrachements Etc.	Méthodes [M1] à [M10] Normes [N56] à [N88]
	Mesures routières	Adhérence Portance Épaisseur de couche Etc.	
État du trafic	Comptage des charges et de leur agressivité	TMJA global TMJA par catégorie Taux croissance	
Prévisions climatiques	Prévisions de gel et de précipitations		
Objectifs d'entretien	Valeur seuil d'indicateurs de performances	Régularité temps trajet Nbre maxi d'accidents/an Satisfaction usagers Etc.	Spécification selon un référentiel [R1], [R2], [B1]
Réglementation	Réglementation des transports routiers et de leur sécurité	Charge maximale à l'essieu Silhouette acceptable Niveau mini d'adhérence Caractéristique d'uni	Circulaire [C2]
	Réglementation de santé publique et de respect de l'environnement	Seuils d'émission de polluant Seuils de bruit	
C.2 En cours			
Gestion de l'entretien	Description des méthodes de gestion de l'entretien des chaussées	Procédures et processus	Guides, manuels [G4] à [G6]
	Définition des indicateurs de gestion	Liste d'indicateurs, mode de calcul	Projets [R1], [R2], et Littérature [B1]
	Analyse Coûts / Bénéfices	Modèles d'impact Modèles de monétarisation	Littérature [B3] à [B7]

Domaines	Type de contenu	Données	Doc de référence
C.3 En sortie			
Spécifications structure	Ensemble des spécifications devant permettre la conception, y compris dimensionnement	Existant, gabarit, trafic, pb de seuil, durée de vie, risque...	
Spécifications travaux	Ensemble des spécifications permettant au constructeur d'exécuter les travaux	Position début et fin, largeur concernée, nature travaux, travaux annexes...	
Démarrage des travaux ^x	Ordre de démarrer les travaux	Rappel de l'identifiant du chantier	Ordre de service

8.4. Annexe D : Documentation concepteur

Pour plus de détails sur les entrées / sorties, voir l'annexe F.1

Domaines	Type de contenu	Données	Doc de référence
D.1 En entrée			
Spécifications structure	Ensemble des spécifications devant permettre la conception, y compris dimensionnement	Existant, gabarit, trafic, problème de seuil, durée de vie, risque...	
D.2 En cours			
Méthodes et outils	Processus de conception des chaussées	Savoir-faire, résultats scientifiques	Guide [G1] à [G3]
	Logiciels de dimensionnement	Portance support, matériaux dispo, pb de seuil, durée de vie, risque	Guide méthodo., Manuel d'utilisation
Catalogues	Structures de chaussée types	Épaisseur et matériaux des couches (selon normes)	Catalogue [CA1]
D.3 En sortie			
Dossier d'exécution	Informations complètes et détaillées pour la réalisation de l'ouvrage	Largeur couches Épaisseur couches (côte supérieure) Type matériau (norme) Condition mise en œuvre	

8.5. Annexe E : Documentation constructeur

Pour plus de détails sur les entrées / sorties, voir annexe F.2

Domaines	Type de contenu	Données	Doc de référence
E.1 En entrée			
Dossier d'exécution	Informations complètes et détaillées pour la réalisation de l'ouvrage	Largeur couches Épaisseur couches (ou côte supérieure) Type matériau (norme) Mise en œuvre	
Spécifications travaux	Ensemble des spécifications permettant au constructeur d'exécuter les travaux	Position début et fin, largeur concernée, nature travaux, travaux annexes...	
Démarrage des travaux ^x	Ordre de démarrer les travaux	Rappel de l'identifiant du chantier	Ordre de service
E.2 En cours			
Identification et approvisionnement des ressources	Position des ressources par rapport site de fabrication / mise en œuvre et organisation de leur transport.	Données géologiques et industrielles cartographiées	
Organisation du chantier	Emprise sur le domaine de l'exploitant ou le domaine public	Plan de masse du site de travaux	
	Mode de travaux	Dossier étude impact	
	Gestion des gênes aux riverains	Plan de com, mesure d'accompagnement	
	Gestion des gênes à l'usager	Plan de com, gestion du trafic sur site	
	Planification détaillée du chantier	Coordination des phases	
Prévention des risques	Analyse des risques pendant le chantier (employés, usagers, riverains)	Données du Plan de Prévention des Risques	Textes légaux
E.3 En sortie			
Recette de l'ouvrage	Confrontation des exigences spécifiées et des performances constatées	Exigences spécifiées Performances mesurées	
Démarrage de la gestion de l'ouvrage (neuf)	Ensemble des données décrivant la nature et l'état initial de l'ouvrage	Base "point zéro"	
Insertion dans le cycle de vie de l'ouvrage (entretenu)	Correction des données décrivant la nature et l'état de l'ouvrage après travaux	Correction de la base de gestion	

8.6. Annexe F : Structure des données

▼ F.1 Données mises en œuvre à la conception

	Type d'informations	Données		
Positionnement projet	Identification de la (portion de) route	Nom de la voie		
		Type de voie		
		Date de construction		
		Constructeur		
		Type de projet (neuf, élargissement, existant)		
	Localisation et tracé du projet	Position du PK début		
		Position du PK fin		
		Repérage géométrique et/ou spatial (tracé)		
		TMJA		
		Année de comptage		
Données et hypothèses pour le dimensionnement	Trafic	% PL		
		% croissance		
		Classe de trafic		
		Distribution spatiale		
		Agressivité		
		Caractéristiques hydrologiques	Données à définir	
		Caractéristiques climatiques	Indice de gel de référence	
			Valeur Qg	
	Autres contraintes d'environnement	Pluviométrie		
	Exigences sur les profils	Données à définir		
Longueur				
Nombre de voies				
Largeur des voies				
Largeur des accotements				
Largeur du TPC				
Dévers de la voie				
Dévers de la BAU				
Caractéristiques de la plateforme	Pente longitudinale			
	Portance			
Hypothèses de dimensionnement	Épaisseur de la couche de forme			
	Nature de la couche de forme			
	Risque de calcul			
Vérification mécanique	Durée de vie			
	Trafic cumulé			
Vérification au gel	Standard / Non standard			
	Coefficient de dispersion			
		valeur du Qg		
Structures requises	Dimensionnement (CCTP)	Type de structure		
		Type de couche de roulement		
		Température de référence		
		Caractéristiques des matériaux		
		Épaisseur de mise en œuvre		
		Largeur de mise en œuvre		
		Déport		
	Autres résultats	Autres spécifications techniques des travaux (CCTP)	Couches	Épaisseur
				granulats
				liant
additifs				
performances				
collage				
CDS	Drainage (à définir)			
	Macro-texture			
	adhérence			
	uni			
		bruit		
Accomp ^{nt}	Scénario entretien et renouvellement	type de renouvellement		
		fréquence de renouvellement		
		matériaux constitutifs		

F.2 Données mise en œuvre à la construction

	Type d'informations	Données		Type d'informations	Données		
Lancement	Réception du dossier marché	Positionnement projet	Exécution	Travaux	Contrôles qualité		
		Exigences sur les profils			FNC		
		Structures exigées			Situation financière		
		Autres spécifications techniques des travaux			Quantités réelles de matériaux		
		Caractéristiques de la plateforme ou de l'existant			Commandes/factures		
		Pièces administratives			Contrôles qualité		
		Pièces financières			FNC		
	Démarrage	OS / commande			Situation financière		
	Préparation chantier	Plans d'exécution - PAQ - Procédures d'exécution			Achèvement	Réception	Macrotecture
		Fiches techniques produits					Adhérence
	Préparation chantier Travaux	Relevé topo					Uni
		Sondages complémentaires					Bruit
		Déclarations sous-traitant					Plans
		PPSPS					Dossier technique
		Quantités prévisionnelles de matériaux					
Commandes/factures							

F.3 Données mises en œuvre à l'exploitation

	Type d'informations	Données		Type d'informations	Données
Historique	Général	Catégorie fonctionnelle de la route	Indicateurs (suite)	Indicateurs d'état structurel	Fissuration transversale de retrait
		Agglomération (O/N)			Fissuration de fatigue
	Chaussée	Couches structurelles			Déformations structurelles
		Date travaux structurels			Réparations localisées
		Type CR			Déflexion à tout moment du contrat
	Age CR				
Sollicitations	Trafic (TMJA, %PL)	Index	Index de performance	Note d'uni = f(NPO, NMO, NGO)	
Indicateurs	Indicateurs d'état superficiel			Uni longitudinal	Note d'adhérence = f(FT, PMT)
				Macro-texture	Note de surface
				Frottement transversal (CFT)	Note de structure
				Profondeur d'ornières ou d'affaissement	Durée de vie résiduelle
		Arrachements superficiels			
		Arrachement profond			
		Ressuage			
		Glaçage			
Fissuration thermique					

Références

Type de doc ^t	Titre
Guides et manuels	[G1] "Conception et dimensionnement des structures de chaussées", Guide technique LCPC – SETRA, Paris, décembre 1994
	[G2] "Manuel de conception des chaussées d'autoroutes, Scétauroute, Paris, 1994
	[G3] "Choix d'une couche de roulement – Performance – Coût Global", Club Régional Méditerranée d'échanges d'expériences sur les routes départementales, SETRA, Paris, avril 1994
	[G4] "Aide à la gestion de l'entretien des réseaux routiers – Volet Chaussées – Méthode", document LCPC – SETRA, octobre 2000
	[G5] "Vizir – Méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier", Méthodes d'essai LPC, LCPC, Paris, 1991
	[G6] "Manuel de gestion du patrimoine routier – Road Asset Management Manual", AIPCR, document en préparation (1 ^{re} version provisoire, octobre 2015)
Méthodes	[M1] "Relevé des dégradations de surface des chaussées", Méthode d'essai LPC n° 38-2, LCPC, Paris, mai 97
	[M2] "Catalogue des dégradations de surface des chaussées", Méthode d'essai LPC n° 52, LCPC, Paris, mars 98
	[M3] "Études routières – Déformabilité de surface des chaussées – Exécution et exploitation des mesures", Méthode d'essai LPC n°39, LCPC, Paris, avril 1997
	[M4] "Ovalisation – Exécution et exploitation des mesures", Méthode d'essai LPC n°41, LCPC, Paris, juin 1995
	[M5] "Application d'un radar pulsé monostatique à l'auscultation des chaussées", Méthode d'essai LPC n°42, LCPC, Paris, juin 1996
	[M6] "Exécution et exploitation des carottages de chaussées", Méthode d'essai LPC n°39, LCPC, Paris, novembre 1996
	[M7] "Mesure de l'uni longitudinal des chaussées routières et aéronautique", Méthode d'essai LPC n°46-v2, LCPC, Paris, juillet 2009
	[M8] "Mesure de l'adhérence des chaussées routières et aéronautiques", Méthode d'essai LPC n°50-v2, LCPC, Paris, avril 2006
	[M9] "Auscultation dynamique des structures de chaussées", Méthode d'essai LPC n°70, LCPC, Paris, mars 2009
	[M10] "Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program", US DOT, FHWA, June 2003
Normes	[N1] NF P 98-200-1 : 1991 - Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante – Partie 1 : Définitions, moyens de mesure, valeurs caractéristiques.
	[N2] NF P 98-200-2 : 1992 - Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante – Partie 2 : Détermination de la déflexion et du rayon de courbure avec le déflectomètre de Benkelman modifié.
	[N3] NF P 98-200-3 : 1993 - Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante – Partie 3 : Détermination de la déflexion avec un déflectographe 02.
	[N4] NF P 98-200-4 : 1993 - Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante – Partie 4 : Détermination de la déflexion avec un déflectographe 03.
	[N5] NF P 98-200-5 : 1993 - Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante – Partie 5 : Détermination de la déflexion avec un Déflectographe 04.
	Les normes d'essais et de produits routiers sont listées dans l'annexe 2 de la référence G1 ci-dessus. Elles sont organisées en : <ul style="list-style-type: none"> • 10 normes générales, de [N1] à [N10] • 23 normes relatives aux produits de chaussées - techniques routières, de [N11] à [N33] • 22 normes relatives aux composants des produits, de [N34] à [N55] • 32 normes relatives aux essais chaussées, de [N56] à [N88] • 14 normes relatives aux autres essais pertinents pour les études chaussées, de [N89] à [N102]

Type de doc ^t	Titre
Circulaire	[C1] "Contrôle de l'uni longitudinal des couches de roulement neuves, Circulaire du 2000-36 du 22 mai 2000, Direction des Routes, Paris
	[C2] "Adhérence de couches de roulement neuves et contrôle de la macro-texture, Circulaire 2002-39 du 16 mai 2002, Direction des Routes, Paris
Catalogue	[CA1] Catalogue des structures types de chaussées neuves, LCPC – SETRA, Paris, 1998
Rapport de projet nationaux, européens ou internationaux	[R1] "Indicateurs de Gestion de Haut Niveau – Rapport", AIPCR, Comité Technique D1, Paris La Défense, octobre 2011.
	[R2] "Performance Indicators for Road Pavements", COST Action 354, European Science Foundation, July 2008
	[R3] "Communic - Collaboration using the Multi-Purpose, Digital Model and Concurrent Engineering", projet ANR, 2077 – 2010, (http://communic.fr)
	[R4] "OKSTRA", Baast, www.okstra.de
	[R5] "IfcRoad", conducted by the KICT (Korean Institute of Construction Technologies), 2012 – 2016
	[R6] "COMMUNIC – Livrable 1", projet ANR, 2077 – 2010, 10décembre 2010 (http://communic.fr)
Initiatives	[I1] "Virtual Construction Platform", ENCORD, 2000
	[I2] "BIM – Building Information Modelling", Construction Industry Council, UK National BIM Report 2012, www.bimtaskgroup.org
Autres bibliographies	[B1] "Indicateur de performances pour le secteur routier – Résumé des essais sur le terrain", Transport, OCDE, 2001
	[B2] P. Autret, "Organisation et mise en place d'un projet d'entretien d'un réseau routier", BLPC 186, LCPC, Paris, juillet / août 1993
	[B3] F. Brillet, "Vers une approche économique de l'entretien des routes", Routes et sécurité routière, LCPX, juillet 2007
	[B4] T. Hoang, "Approche des bilans environnementaux et économiques des routes", Thèse, Ecole Centrale de Nantes, novembre 2005
	[B5] Ph. Lepert, "Gestion technico-économique des infrastructures routières", BLPC n° 261-262, LCPC, Paris, 2006
	[B6] J.-P. Nicolas et al., "La monétarisation des effets locaux de la pollution – des évaluations scientifiques aux décisions politiques", Synthèse n° 46, INRETS, Lyon, 2004
	[B7] "Evaluation économique des chaussées à longue durée de vie", OCDE, 2005

UC2 – Cycle de vie des chaussées

2- Structuration des chaussées

Sommaire

1. PREAMBULE	40
2. LA STRUCTURATION DES DONNEES CHAUSSEES DANS MINND	41
3. LA DEMARCHE ADOPTEE	42
4. LES ACTEURS	43
5. LES DONNEES	44
6. LES PHASES DU PROJET.....	46
6.1. En phase conception	46
6.2. En phase construction.....	47
6.3. En phase exploitation.....	47
7. LA STRUCTURATION DES DONNEES	48
8. LA REPRESENTATION DES ECHANGES	51
8.1. Nature des échanges.....	51
8.2. La représentation des échanges.....	53
9. ANNEXES	55
9.1. Annexe 1 : Tableau de structuration des données	55
9.2. Annexe 2 : représentation des données au format BPMN	56
9.3. Annexe 3 : proposition d’extension des IFC – Projet IFC roads.....	58

I. PREAMBULE

Définition de la gestion du patrimoine dans le dictionnaire de l'AIPCR

La gestion du patrimoine est définie comme « l'Approche intégrale et structurée de la gestion d'actifs (tels que les routes, les ponts, les tunnels, le bâtiment, les installations et équipements et les ressources humaines) sur toute leur durée de vie, en vue d'une fourniture efficiente et efficace de services à la société » dans le dictionnaire de l'AIPCR.

Les chaussées constituent le principal patrimoine pris en compte dans un système de gestion du patrimoine.

Pourquoi considérer les chaussées comme un « patrimoine » particulier ?

Cependant, pourquoi considérer les chaussées comme un « patrimoine » particulier :

- Les règles de dimensionnement permettent de définir une structure adaptée en considérant des contraintes variables comme le trafic, les zones climatiques, etc.
- Les chaussées sont généralement dimensionnées pour une durée de service de 10 à 30 ans et requièrent des entretiens réguliers.
- Les chaussées s'adaptent sur leur durée de vie : entretien, renforcement, élargissement, etc.
- Les chaussées présentent des dégradations naturelles, en particulier liées au trafic et nécessitent par conséquent, des inspections régulières à réaliser au bon moment.
- Les chaussées ont des interactions avec les usagers (confort, sécurité).
- Les chaussées représentent le plus important budget en termes de maintenance et d'entretien.

Structurer les données chaussées sur le cycle de vie

Au regard de ces éléments, il est donc nécessaire de structurer les données chaussées sur le cycle de vie. La finalité de la structuration des données chaussées est de :

- Connaître les caractéristiques des chaussées.
- Connaître l'état des chaussées à tout moment.
- Prévoir les besoins de suivi et d'entretien.

Disposer de toutes les informations nécessaires

Structurer les données chaussées doit permettre de disposer de toutes les informations nécessaires pour pouvoir connaître à chaque instant :

- Le niveau de service offert aux usagers (caractéristiques de surface).
- L'état du patrimoine.
- L'urgence en cas de dégradation.

Recenser l'ensemble des données

Il convient donc de recenser l'ensemble des données relatives à leur conception, leur réalisation, leur environnement et leur suivi.

2. LA STRUCTURATION DES DONNEES CHAUSSEES DANS MINnD

Un projet de modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables

Le projet MINnD s'intéresse à la modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables. Il associe des approches conceptuelles sur les outils et méthodes, les technologies et les processus, et différents cas d'usage réels, dont le cas « UC2 : Cycle de vie des chaussées ».

La structuration des données chaussées

On traite ici du sujet de la structuration des données chaussées relatives à un projet routier pour le BIM. La démarche a été la suivante :

- Lister de manière exhaustive les données nécessaires à la réalisation d'un projet.
- Affilier chaque donnée à un objet issu de la structure de la route.
- Rassembler ces données en « opérations élémentaires ».
- Décomposer les opérations par phase de projet de la conception à l'entretien.
- Établir une liste d'interaction type entre acteurs selon les données et les phases projet.

Cette démarche a permis d'aboutir à un modèle de métadonnées formalisé par une matrice.

Une réunion de tous les types d'acteurs susceptibles de participer à un projet routier

Le groupe de travail a réuni tous les types d'acteurs susceptibles de participer à un projet routier, du concessionnaire au maître d'œuvre pour :

- Avoir une vision globale de l'emploi de la maquette numérique.
- Être le plus précis possible quant aux données échangées tout au long du cycle de vie.

Les objectifs

Les objectifs étaient les suivants :

- Définir les données à échanger.
- Définir les différents objets qui composent une chaussée.
- Définir entre quels acteurs interviennent les échanges et à quel moment du projet.
- Définir quelles sont les données obligatoires et optionnelles selon les phases.

L'aboutissement de ce travail a été formalisé au travers d'une matrice (Annexe 1).

3. LA DEMARCHE ADOPTEE

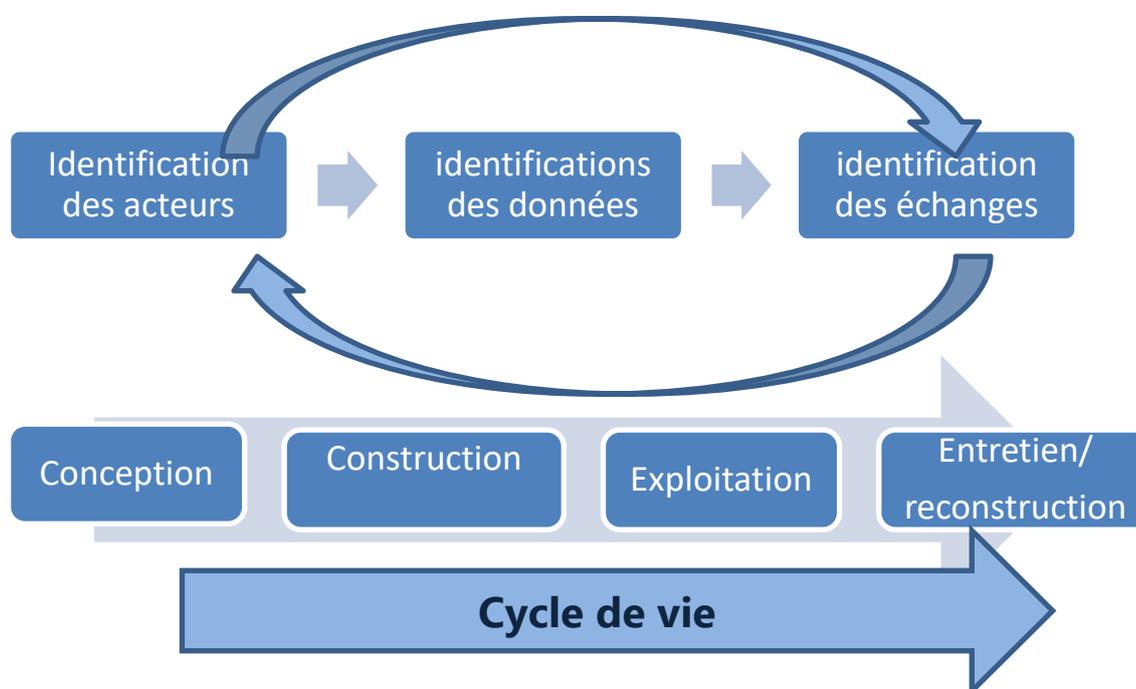
Une opportunité

L'utilisation de la maquette numérique dans le cycle de vie des chaussées est une opportunité qui s'inscrit dans la démarche déjà engagée sur cette thématique par la mise en place courante de base de données et de SIG.

Les questions posées

La démarche amène à se poser les questions suivantes :

- Qui sont les acteurs sur le cycle de vie ?
- Quelles sont les données utiles, utilisées... sur le cycle de vie ?
- Quand, à quelles phases du projet les échanges ont-ils lieu ?
- Quels sont les échanges d'information entre les acteurs ?



4. LES ACTEURS

Les principaux acteurs identifiés

Les acteurs principaux identifiés sont :

Acteur	Rôle
Le concessionnaire / Maître d'Ouvrage délégué noté CE	<p>ici, le propriétaire et le concessionnaire sont confondus pour limiter le nombre d'intervenants et de rendre le tableau de structuration des données plus lisible.</p> <p>Il s'agit des « clients » pour lesquels la chaussée est construite. Il assure :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le financement de l'infrastructure. • La définition du programme d'opération et les exigences générales. <p>Le cas échéant, il délègue la maîtrise d'œuvre étude et/ou travaux à un tiers, ainsi que l'exploitation et l'entretien de l'ouvrage.</p>
Le concepteur des chaussées noté CC	<p>Le concepteur dimensionne la chaussée par rapport aux exigences du CE. Il travaille en interface avec d'autres concepteurs (identifiés comme d'autres concepteurs AC) pour les tâches particulières, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'hydraulique. • Les terrassements. • La géométrie. • Etc.
Le constructeur des chaussées, noté CS	<p>Le constructeur désigne ici l'entreprise de travaux retenue au terme d'un marché pour réaliser une chaussée. Il exécute les travaux pour le compte du propriétaire/concessionnaire et suivant les spécifications du/des concepteur(s).</p>
L'exploitant des chaussées, noté E	<p>L'exploitant est mandaté par le concessionnaire pour entretenir la chaussée et fournir un niveau de service aux usagers de l'infrastructure.</p>
Autres	<p>D'autres concepteurs que celui des chaussées, notés AC. Il peut s'agir du concepteur géométrie, terrassements.</p>

5. LES DONNEES

<p>Deux types de données nécessaires</p> <p>Les données statiques</p> <p>Les données dynamiques</p>	<p>Deux types de données sont nécessaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des données statiques. • Des données dynamiques. <p>Les données statiques sont les données physiques n'évoluant pas dans le temps et décrivant / caractérisant la chaussée. Elles peuvent être statiques à des moments différents du cycle de vie de la chaussée et devenir dynamiques ensuite.</p> <p>Les données dynamiques sont les données d'état des ouvrages évoluant dans le temps (caractéristiques fonctionnelles, d'usage et de fonctionnement).</p>
<p>Les constatations à la base de la réflexion</p>	<p>De façon générale, les constatations suivantes ont servi de base à la réflexion :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toutes les données ne sont pas nécessaires ou ne présentent pas le même intérêt pour chacune des phases. • La vie d'une chaussée démarre à sa construction. La fiabilité des données récupérées en phase conception puis construction est nécessaire pour fiabiliser l'exploitation. • Des données obtenues en phase construction doivent être disponibles pour expliquer des phénomènes constatés en exploitation. • Des données dynamiques en phase travaux deviennent statiques en exploitation (à la fin des travaux). • Un choix des données juste nécessaires est à réaliser pour assurer une continuité conception/construction/exploitation. <p>Ces réflexions ont abouti à une liste de données figurant dans la matrice de l'annexe 1.</p>
<p>Regroupement des données par « opérations élémentaires »</p>	<p>Une fois la liste des données effectuées, elles sont regroupées par « opérations élémentaires ». Par exemple, plusieurs données permettent de caractériser précisément l'opération « Trafic » comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'année de comptage. • Le % de poids lourds. • Le % de croissance attendue. • La distribution spatiale entre les voies. • Etc. <p>Il a été convenu que seules les données liées à la chaussée et les données nécessaires à la conception, construction et exploitation de la chaussée elle-même étaient concernées.</p> <p>Les données ont été regroupées selon les différents thèmes suivants, notés opérations élémentaires dans l'annexe 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conception/construction. • Exploitation.

5 Les données | Regroupement des données par « opérations élémentaires »

Conception/construction

Les données pour la conception/construction sont les suivantes :

- Localisation / Identification : pour identifier de façon certaine les ouvrages et faciliter les opérations de visite et d'entretien.
- Caractéristiques géométriques de l'ouvrage à réaliser.
- Caractéristiques de l'existant.
- Trafic.
- Drainage.
- Dimensionnement.
- Vérification mécanique.
- Vérification au gel.
- Scénario d'entretien et renouvellement.
- Spécifications techniques générales par couche.

Note : il est précisé que l'opération élémentaire « Dimensionnement » correspond à un dimensionnement réalisé à partir d'un catalogue, d'abaques, sans calcul mécanique. Les opérations élémentaires « vérification mécanique » et « vérification au gel » induisent des calculs mécaniques.

Exploitation

Les données pour l'exploitation sont les suivantes :

- État visuel.
- Travaux d'entretien courant.
- Indice de performance superficiel.
- Indice de performance structurel.
- Indicateurs / Index.
- Travaux GER.

La représentation de ces données est proposée sous forme d'une matrice présentée en Annexe 1.

6. LES PHASES DU PROJET

6.1. En phase conception

Phases retenues

On distingue ces phases :

Autoroutes concédées Circulaire 87-88		Route du réseau national IT 29/04/2014
Liaisons neuves	Autoroutes en service	
APS	DS / DDP	Études préalables
APA	AVP	AVP
PRO	PRO	PRO

Explications

Les phases grisées correspondent à celles étudiées dans l'UC2.

Phase	Description
APA/AVP	Les études d'Avant-Projet ont pour objet : <ul style="list-style-type: none"> De confirmer la faisabilité de la solution retenue dans les études antérieures. D'en déterminer ses principales caractéristiques.
PRO	Les études de Projet correspondent aux études détaillées. Elles permettent : <ul style="list-style-type: none"> De préciser les choix techniques. De fixer les caractéristiques et dimensions des différents ouvrages. D'établir un coût prévisionnel des travaux détaillé.
DCE	Le dossier de consultation des entreprises a pour objectif de définir les spécifications du marché et ses conditions d'exécution : <ul style="list-style-type: none"> Aussi bien d'un point de vue administratif. Que d'un point de vue technique.

6.2. En phase construction

Phases retenues En phase construction, les phases suivantes sont identifiées :

Phase	Description
Marché	<p>Le marché correspond à la phase pendant laquelle le concessionnaire / maître d'ouvrage délégué (CE) choisit le constructeur (CS) qui va réaliser, et éventuellement concevoir, les travaux de chaussées. Pendant cette phase, les échanges concernent :</p> <ul style="list-style-type: none"> Le retrait par les constructeurs candidats du dossier de consultation établi par le concessionnaire en phase DCE. La remise par les constructeurs candidats d'une offre comportant les documents administratifs, techniques et financiers exigés par le dossier de consultation et nécessaires au jugement des offres par le concessionnaire. <p>Après examen des offres et choix du constructeur par le concessionnaire, les échanges sont finalisés par la signature d'un contrat entre le concessionnaire et le constructeur.</p>
Préparation	<p>La préparation est la phase entre le marché et l'exécution proprement dite de la chaussée. Pendant cette phase, les échanges concernent les documents nécessaires à l'exécution des travaux. Ils sont établis par le constructeur (souvent après concertation avec le concessionnaire) et communiqués au concessionnaire pour validation.</p>
Travaux	<p>Cette phase correspond à la période de réalisation de la chaussée. Pendant cette phase, les échanges concernent les documents retraçant l'exécution réelle des travaux de chaussée. Ils sont établis par le constructeur et le concessionnaire.</p>
Réception	<p>La réception correspond à l'acceptation par le concessionnaire (avec ou sans réserve) de la chaussée réalisée par le constructeur. Elle est précédée des opérations préalables à la réception qui permettent de contrôler la conformité de la chaussée réalisée. Elle est également précédée de la remise du dossier de récolement. Les documents sont établis par le concessionnaire et par le constructeur.</p>

6.3. En phase exploitation

Phases retenues En phase exploitation, les phases suivantes sont identifiées :

Phase	Description
Suivi et entretien courant	<p>L'entretien courant de la chaussée est superficiel et est assuré par l'exploitant, qui est responsable de la détection et des réparations des dégradations. Cet entretien comprend généralement le rebouchage de nid-de-poule et le pontage ponctuel de fissures / joint.</p>
Auscultation GER	<p>Les travaux structurels ou d'envergure entrent dans la catégorie GER - Gros Entretien et Renouvellement. Ces travaux, à la charge du propriétaire, sont périodiques selon un plan établi au début de la phase d'exploitation et affiné en continu. Le GER comprend les coûts d'investissement et de charges réalisés tout au long de la vie de la route et destinés à couvrir les réparations lourdes et les renouvellements afin de remettre la route en état de service.</p> <p>Les auscultations sont réalisées généralement tous les 3 ans. Elles permettent au propriétaire de savoir si des travaux lourds sont à effectuer pour maintenir le niveau de service de sa chaussée.</p>

7. LA STRUCTURATION DES DONNEES

La décomposition d'un projet routier

Comme évoqué dans le document « *Étude de l'art* », on peut décomposer un projet routier en plusieurs éléments imbriqués les uns dans les autres. Chaque donnée peut ensuite être affiliée à un objet unique.

Les objets retrouvés

On retrouve les objets suivants :

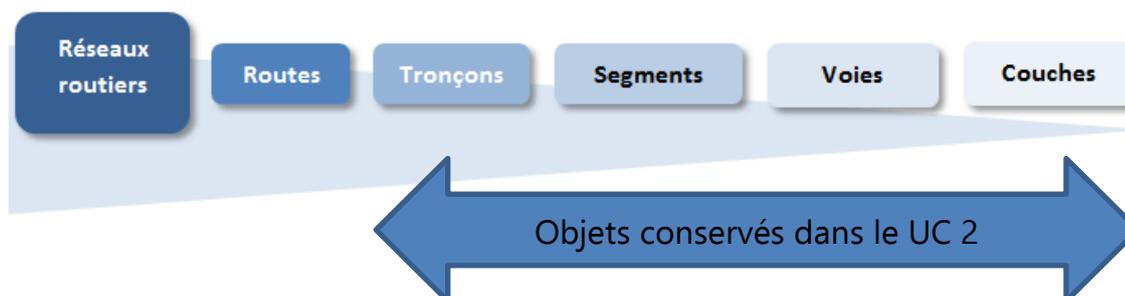


Figure 1 : Schématisation des objets

Objet	Description
Les réseaux routiers (unité de propriétaire)	Autoroutes, routes nationales, routes départementales ...
Les routes (unité politico-administrative)	On s'attache à un projet routier précis au sein d'un réseau.
Les tronçons routiers (unité de conception - réalisation initiale)	Le tronçon a été défini comme une portion de route sur laquelle le trafic reste constant (typiquement entre deux échangeurs).
Les segments routiers (unité de comportement ou d'état)	On parle de segment quand une portion de route possède le même profil en travers, par exemple.
Les voies	On différencie transversalement, sur un même segment, des voies qui peuvent être conçues différemment : voies poids lourds, voies rapides, bande d'arrêt d'urgence ...
Les couches	Les couches sont synonymes de matériaux divers et composent la structure de la chaussée. C'est le plus petit objet défini au niveau de cette étude.

L'ensemble des données listées concerne les objets à partir de l'étape « Tronçons ».

Note : ce choix exclut du périmètre de l'étude certaines activités, notamment d'exploitation ou d'entretien. On pense par exemple à l'organisation des déviations lors de chantiers lourds, ou encore à la programmation de l'entretien. Dans ces activités, qui concernent le gestionnaire, l'exploitant et à un moindre niveau, le concessionnaire, les informations transférées ou partagées entre acteurs relèvent davantage de la route voire du réseau. Ce choix répond à la volonté de ne pas complexifier davantage un schéma déjà très complexe.

Chaque objet est composé d'au moins une dizaine de données et jusqu'à une trentaine pour l'objet Voie.

Les difficultés du découpage

Le découpage s'est fait en partant de l'objet le plus important, à savoir les réseaux routiers. Les difficultés du découpage sont :

- De ne pas être redondants.
- D'avoir des limites définies.
- De pouvoir classer les données sans hésitation dans un seul objet - le plus approprié.

Les notions d'objet et sous-objet

Les notions d'objet et sous-objet sont appliquées aux données définies. À chaque objet ou sous-objet sont affectés des attributs. Ces attributs sont issus des données prédéfinies ci-avant.

La décomposition adoptée dans le cas de la structuration des données chaussées

La décomposition suivante est adoptée dans le cas de la structuration des données chaussées :

- Objet : Tronçon.
- Sous-objet N-1 : le segment.
- Sous-objet N-2 : la voie.
- Sous-objet N-3 : la couche et les matériaux.

Association de la notion de découpage spatial à celle de découpage par objets/composants

Cette approche associe la notion de découpage spatial à celle de découpage par objets/composants. Elle n'intègre pas la notion de découpage fonctionnel. Celle-ci n'a de sens et d'utilité que lorsqu'on s'intéresse au niveau réseau, en particulier lorsqu'on hiérarchise les routes pour gérer leur entretien. Nous avons vu que ceci sortait du périmètre du présent travail.

Le tableau de l'annexe 1 indique, pour chacune des données identifiées, l'objet qui la concerne.

La figure de l'annexe 3, montre à quoi pourrait se raccrocher ce modèle de données, dans un modèle conceptuel plus large, tel qu'il est en cours d'élaboration avec BuildingSmart d'une part et l'OGC d'autre part.

Les attributs sont présentés dans ce tableau :

Objet	Sous-objet N-1	Sous-objet N-2	Sous-objet N-3	
Tronçon	Segment	Voie	Couche	Matériaux
Trafic – TMJA / croissance / PL				
Indice de gel de référence				
Scénario d'entretien				
Nom du tronçon				
	Type de voie			
	Date de construction			
	Constructeur			
	Type de projet			
	Repérage géométrique et/ou spatial			
	Longueur			
	Nombre de voies			

Objet	Sous-objet N-1	Sous-objet N-2	Sous-objet N-3	
Tronçon	Segment	Voie	Couche	Matériaux
	Profils en travers	Largeur de voie		
		Dévers		
		Taux de PL		
		Agressivité		
	Plateforme	Portance		
		Épaisseur de la couche de forme		
		Nature de la couche de forme		
	Dimensionnement	Standard		
		Type de structure		
		Type couche de roulement		
		Température de référence		
		Risque calcul		
		Durée de vie		
		Épaisseur totale		
			Coefficients de dispersion	
			Épaisseur	
			Déport	
			Collage	
			Macrotecture	
			Uni PO, MO, GO	
			Bruit	
			Orniérage	
			Age Moyen	
			Matériaux	Granulats
				Liants
				Additifs
				Performance (module et fatigue)
	Indicateurs	Indice de performance superficiel		
		Indice de performance structurel	% dégradation	
			Déflexion	
			Durée de vie résiduelle	
	Indicateur de surface			
	Indicateur adhérence			
	Indicateur uni			
	Indicateur structurel			

8. LA REPRESENTATION DES ECHANGES

8.1. Nature des échanges

En phase conception

APA/AVP

Les échanges peuvent porter sur :

- La localisation et l'identification du projet.
- Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage à réaliser (repérage spatiale, largeur de voies ...).
- Les trafics.
- La plate-forme (portance et épaisseur de la couche de forme...).
- Le dimensionnement de la chaussée et les vérifications de ce dimensionnement.
- Les scénarios d'entretien.

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Plans (vues en plan, profils en long profils en travers...).
- Notices (études de trafics note de dimensionnement...).
- Notes de calcul.

PRO

Les échanges peuvent porter sur :

- La localisation et l'identification du projet.
- Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage à réaliser (repérage spatiale, largeur de voies ...).
- Les trafics.
- La plate-forme (portance et épaisseur de la couche de forme...).
- Le drainage de la plate-forme.
- Le dimensionnement de la chaussée et les vérifications de ce dimensionnement.
- Les scénarios d'entretien.

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Plans (vues en plan, profils en long profils en travers...).
- Notices (études de trafics note de dimensionnement...).
- Notes de calcul.

DCE

Les échanges peuvent porter sur :

- La localisation et l'identification du projet.
- Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage à réaliser (repérage spatiale, largeur de voies ...).
- Les trafics.
- La plate-forme (portance et épaisseur de la couche de forme...).
- Le drainage de la plate-forme.
- Le dimensionnement de la chaussée et les vérifications de ce dimensionnement.
- Les spécifications techniques (matériaux, conditions de réalisation, résultats à obtenir, contrôles à réaliser...).

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Plans (vues en plan, profils en long, profils en travers...).
- CCTP, STD...

8.1 Nature des échanges

En phase construction**Marché**

Les échanges peuvent porter sur :

- La localisation et l'identification du projet.
- Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage à réaliser (repérage spatiale, largeur de voies ...).
- Les caractéristiques des ouvrages existants.
- Les trafics.
- La plate-forme (portance et épaisseur de la couche de forme...).
- Le drainage de la plate-forme.
- Le dimensionnement de la chaussée et les vérifications de ce dimensionnement.
- Les spécifications techniques (matériaux, conditions de réalisation, résultats à obtenir, contrôles à réaliser...).

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Documents textes constituant le dossier de consultation DCE.
- Documents texte constituant l'offre du constructeur.
- Plans.
- Fiches techniques produits.
- Fiches techniques matériels.
- Notes de calculs
- ...

Préparation

Les échanges peuvent porter sur :

- Caractéristiques de l'existant (géotechnique, géométrie, nivellement, structure...).
- Caractéristiques géométriques de l'ouvrage à réaliser (adaptation aux caractéristiques de l'existant).
- Plate-forme (géotechnique, agrément des matériaux de couche de forme).
- Spécifications techniques (agrément des constituants, des formules, des procédés de fabrication et de mise en œuvre...).

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Plans.
- Synthèse de reconnaissance géotechnique.
- Fiches techniques produits.
- Fiches techniques matériels.
- Plans d'exécution.
- Notes de calcul.
-

Travaux

Les échanges peuvent porter sur :

- Caractéristiques géométriques de l'ouvrage réalisé.
- Performances de la plate-forme.
- Spécifications techniques des produits mis en œuvre.

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Compte-rendu de réunions.
- Journal de chantier.
- Constats.
- Rapports des contrôles des spécifications techniques.

8.1 Nature des échanges | En phase construction

Réception

Les échanges peuvent porter sur :

- Caractéristiques géométriques de l'ouvrage réalisé.
- Caractéristiques de la plate-forme.
- Spécifications techniques des matériaux et des modalités de mise en œuvre.

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Rapports d'essais de contrôle technique.
- Dossier de récolement.
- Procès-verbal des opérations préalables à la réception.
- Notification de réception.

Phase exploitation**Suivi et
entretien courant**

Les échanges peuvent porter sur :

- Type et nature des dégradations.
- Localisation des dégradations.
- Technique de réparation des dégradations.

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Rapports réguliers des agents d'exploitation.
- Rapports de visite pour suivi semestriel des réparations.
- Renseignement dans les bases de données.

Auscultation et GER

Les échanges peuvent porter sur :

- Valeur des indicateurs d'état du réseau (superficiel et structurel).
- Solutions de travaux GER.

Ils sont formalisés sous la forme de :

- Étude d'auscultations comprenant la mesure des indicateurs et leur analyse.
- Étude de renforcement des chaussées.

8.2. La représentation des échanges

**Une question
fondamentale**

La question de la représentation des échanges est fondamentale.

**Une matrice pour
formaliser les échanges**

En première approche, une formalisation des échanges a été établie sous forme d'une matrice permettant de figurer :

- Les phases.
- Les acteurs.
- Les données échangées (avec une notion de donnée obligatoire ou optionnelle).
- Les échanges.

Cette matrice permet d'identifier tous les échanges et toutes les données.

Elle est présentée en annexe 1.

8.2 La représentation des échanges

Une représentation utile

Au-delà de cette matrice, l'objectif est de proposer une représentation utile pour :

- D'une part, suivre la conformité des échanges de données au long du cycle de vie par rapport aux exigences du contrat.
- D'autre part, c'est une forme universellement reconnue pour pouvoir spécifier le contenu d'un standard comme les IFC.

Un formalisme qui est une référence mondiale reconnue**L'objectif du BPMN**

Un formalisme, défini dans le Guide d'implémentation du BIM du Pennstate, qui est une référence mondiale reconnue, est proposé. Le format est une représentation BPMN (Business Process Model and Notation) dont l'entrant fondamental est la matrice de l'Annexe 1.

Le BPMN a été développé avec l'objectif de faciliter la communication entre les acteurs engagés dans le développement et la maintenance des systèmes d'information et des applicatifs orientés, notamment en favorisant l'utilisation d'un langage commun de modélisation.

Une représentation standardisée du déroulement des processus

Le BPMN permet une représentation standardisée du déroulement des processus. C'est le cas autant pour :

- Les analystes d'affaires qui produisent les premières ébauches.
- Le personnel technique qui met en œuvre la solution technologique exécutant le processus.
- Les utilisateurs d'affaires qui gèrent et contrôlent les processus.

Un processus représente un flux séquentiel d'activités ou de tâches

Un processus représente un flux séquentiel d'activités ou de tâches réalisé dans une organisation afin de produire un ou plusieurs extrants. Dans la notation proposée, un processus est représenté sous la forme d'un graphe d'éléments. Ceux-ci peuvent être des activités, des tâches, des événements et des passerelles de même que leur flux séquentiel qui décrit sémantiquement l'ordre dans lequel ce graphe d'éléments doit être réalisé. Les processus peuvent être modélisés selon plusieurs niveaux de décomposition hiérarchique.

La représentation de la structuration des données

L'annexe 2 reprend les symboles suivants pour la représentation de la structuration des données.

La couleur noire est associée aux taches, échanges... obligatoires et la couleur orange est associée à l'optionnel.

Règle de nommage des échanges

Les échanges sont nommés selon la règle suivante :

Émetteur – Récepteur – Phase – Opération Élémentaire – Indice de l'échange

Exemple : CE-CC AVP Loc 1

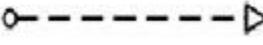
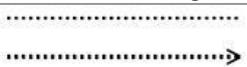
Il s'agit d'un échange provenant de l'émetteur Concessionnaire/ Maître d'Ouvrage délégué et allant au récepteur le concepteur des chaussées durant la phase AVP concernant l'opération élémentaire Localisation. Cet échange est l'échange 1 entre ces deux acteurs sur cette phase et pour cette opération.

9.2. Annexe 2 : représentation des données au format BPMN



Légende

Les objets sont présentés dans ce tableau :

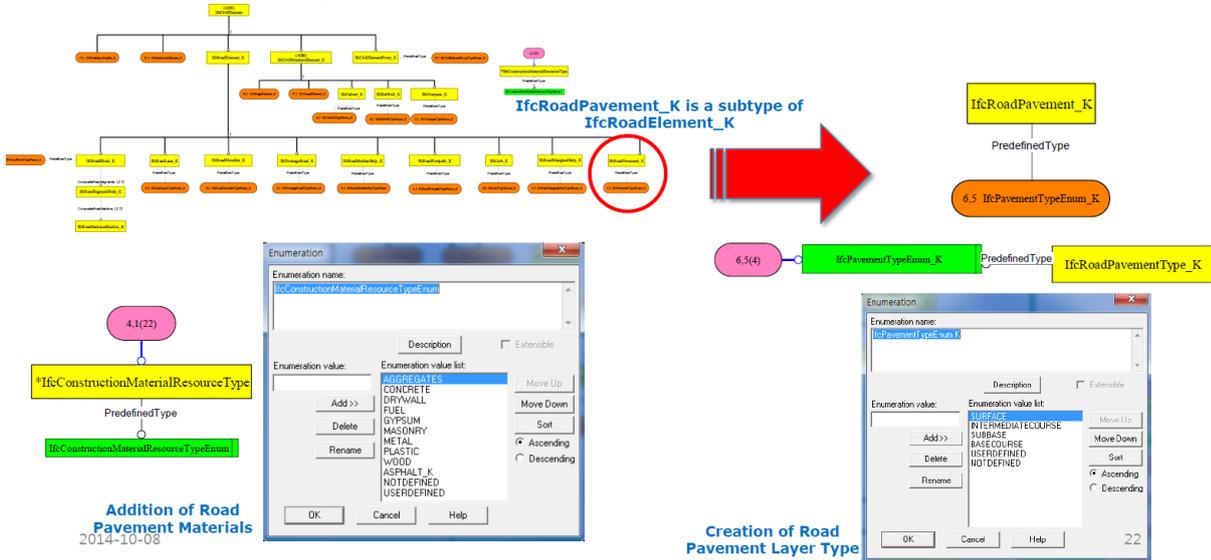
Objet	Description
 <p>Figure xx : Activité</p>	<p>Une activité représente tout travail qui est accompli à l'intérieur d'un processus. Une activité consomme du temps, une ou plusieurs ressources, requièrent un ou plusieurs objets intrants et produit un ou plusieurs objets extrants. On peut hiérarchiquement décomposer les activités en tâches qui sont l'unité de décomposition la plus précise d'une action. Les activités peuvent représenter plusieurs niveaux de détails.</p> <ul style="list-style-type: none"> Le symbole Activité est représenté par un rectangle aux coins arrondis. Une activité peut avoir plusieurs flux séquentiels en intrants et en extrants. Dans la modélisation graphique, les activités d'un processus ne sont généralement pas connectées les unes aux autres.
 <p>Figure XX : Passerelle</p>	<p>Le symbole Passerelle est utilisé pour contrôler les divergences et les convergences que l'on retrouve au niveau des flux séquentiels d'activités ou de tâches dans un processus.</p>
 <p>Figure XX: Flux séquentiel</p>	<p>Le symbole Flux séquentiel représente l'ordre dans lequel les activités ou les tâches doivent être réalisées au sein d'un Processus (à l'horizontale).</p>
 <p>Figure XXX : Flux de messages</p>	<p>Le symbole Flux de messages représente les échanges de messages, c'est-à-dire les émissions et les réceptions de messages entre deux Participants.</p>
 <p>Figure XXX : Association</p>	<p>L'association est utilisée afin d'illustrer les relations entre les éléments graphiques tels que les annotations, les données, les messages et les objets du flux. Cette association peut être simple ou bidirectionnelle.</p>
<p>Un participant</p>	<p>Un participant représente les acteurs qui sont les participants d'une collaboration. Un participant est souvent responsable de la réalisation du processus que l'on retrouve modélisé dans un bassin.</p>
 <p>Figure XXX : Bassin</p>	<p>Le symbole Bassin représente un Participant dans un diagramme de Collaboration. Il peut contenir ou non des détails. Avec des détails, il représente alors un Processus. Sans détail, il agit comme une simple « boîte noire ».</p>
 <p>Figure XX : Donnée</p>	<p>Le symbole Objet de données fournit de l'information sur les activités ou les tâches qui doivent être réalisées et sur ce que ces dernières doivent produire. Il comprend des codes figurant le contenu de l'échange que l'on retrouve dans la matrice de structuration des données en annexe 1.</p>
 <p>DÉCLENCHEUR INTERMÉDIAIRE RÉSULTANT</p>	<p>Le symbole Événement représente quelque chose qui se produit dans le cours normal de la réalisation d'un processus ou d'une chorégraphie.</p> <ul style="list-style-type: none"> Un événement peut déclencher un processus ou sous-processus. Dans ce cas il est appelé Événement déclencheur. Un événement peut être le résultat de la réalisation d'une activité ou d'une tâche. Dans ce cas, il est appelé Événement résultant (non utilisé dans le cas présent). Un événement peut modifier le cours normal d'un flux séquentiel. Dans ce cas, il est appelé Événement intermédiaire.
 <p>Figure 14 : Message</p>	<p>Le symbole Message est utilisé pour décrire le contenu d'une communication qui se déroule entre deux participants (qui possèdent soit un Rôle de partenaire ou un Rôle d'affaires). L'enveloppe blanche représente l'envoi d'un message et l'enveloppe noire la réception d'un message.</p>

9.3. Annexe 3 : proposition d'extension des IFC – Projet IFC roads

3. IfcRoad Schema based on IFC4



IfcRoadPavement_K



UC2 – Cycle de vie des chaussées

3- Gestion des exigences

Sommaire

I. INTRODUCTION	60
1.1. Contexte du Projet MINnD.....	60
1.2. Objectifs.....	61
1.3. La gestion d'exigence.....	62
2. DES CONCEPTS ET DES NORMES	65
2.1. Application Life cycle Management.....	65
2.2. Product Life cycle Management	68
2.3. Building Information Modeling	71
2.4. La norme PLCS	76
2.5. Le format IFC.....	82
2.6. Le format STEP.....	82
2.7. IEEE.....	86
3. LA GESTION D'EXIGENCES	88
3.1. Formalisation.....	88
3.2. Structure.....	90
3.3. Caractéristiques	91
3.4. Couverture	93
3.5. Gestion en configuration	95
4. DES OUTILS DE GESTION DES EXIGENCES	97
4.1. Enovia Requirement Central.....	98
4.2. EuroStep : Share-A-Space	100
4.3. IBM Rational Doors.....	101
4.4. PTC Integrity.....	101
4.5. D'autres outils	102
5. CAS D'APPLICATION : GESTION DES EXIGENCES DANS LE CONTEXTE DU PROJET MINND	03
5.1. Introduction.....	103
5.2. Les principes de gestion d'exigences à retenir	103
5.3. L'organisation des exigences appliquées aux chaussées	109
5.4. Les bonnes pratiques à mettre en œuvre.....	115
6. CONCLUSION	117

I. INTRODUCTION

I.1. Contexte du Projet MINnD

Maîtriser et partager les informations : des enjeux essentiels pour le secteur du BTP

Maîtriser et partager les informations sont des enjeux essentiels pour le secteur du BTP qui doit aujourd'hui faire face aux évolutions majeures du métier, telles que :

- La complexification des projets.
- Le développement de l'écoconception et des nouveaux types de partenariats entre les acteurs : PPP, concessions.
- L'obligation de maîtriser les risques : anticipation, identification, évaluation, répartition.
- Le développement du BIM : Building Information Modeling.

Le premier enjeu : passer à l'élément plus fin qu'est l'information

Les plans, les notes et notices, les fichiers ont montré leurs limites. Le premier enjeu est donc bien de passer à l'élément plus fin qu'est l'information en se dotant :

- D'une structuration et d'un standard d'échange des informations (reconnus sur le plan international).
- D'outils adaptés qui sont, soit transversaux comme par exemple la maquette numérique, soit spécialisés comme les outils développés actuellement par chaque acteur.

La maquette numérique d'un objet manufacturé s'intéresse à un produit « nouveau »

La maquette numérique d'un objet manufacturé s'intéresse à un produit « nouveau », indépendamment de l'environnement dans lequel il évolue (véhicule par exemple).

Le BIM : une vision désincarnée, décontextualisée d'un bâtiment

De la même façon, le BIM (concernant le bâtiment) n'est qu'une vision désincarnée, décontextualisée d'un bâtiment souvent non raccordé à l'environnement urbain existant. Les fondations sont modélisées ainsi que le raccordement aux réseaux, mais le sol n'est pas représenté. Le parti pris est clairement la modélisation de l'objet final (donc une activité de conception). Les étapes de la construction incluant par exemple les arrêts de coulage, les outils nécessaires, la logistique et les éléments temporaires ne sont pas modélisés.

Le modèle IFC pour le bâtiment

Un prolongement de cette approche venue de l'activité manufacturière se retrouve dans certaines tentatives d'évolution dans le secteur du BTP. Il s'agit de partir du modèle IFC pour le bâtiment, et de vérifier sa validité sur d'autres objets du BTP.

L'IFC Bridge pour étendre le BIM aux ouvrages d'art

Une première version IFC Bridge dont l'objet est d'étendre le champ d'application du BIM aux ouvrages d'art a été proposée, mais non encore mise en œuvre par les éditeurs de logiciels. D'un point de vue conceptuel, elle reste une extension du modèle Bâtiment, focalisée sur la conception et sans prise en compte de l'environnement extérieur, en particulier du sol.

I.1 Contexte du Projet MINnD

Des logiciels de tracés routiers ou ferroviaires**Une approche surfacique****Un phasage nécessitant des extractions et des remblais consécutifs**

Il existe des logiciels de tracés routiers ou ferroviaires qui permettent la description de la ligne rouge du projet, des profils en travers et calculent les entrées en terre.

Mais l'approche est une approche surfacique, décrivant le terrain naturel avant le projet et le terrain naturel à la fin du projet. Les déblais et remblais ne sont pas modélisés comme des « objets volumiques ».

De plus, le phasage de réalisation nécessite des extractions et des remblais consécutifs. Comme exemple, on peut citer :

- La purge en pied de remblai, dont l'espace libéré serait partiellement comblé par le remblai réalisé par-dessus.
- Ou le déblai dont les talus seraient recouverts de terre végétale et le fond porterait les couches de forme supportant le revêtement de chaussée ou le ballast de la voie.

Un SIG pour analyser l'impact du projet sur l'environnement

L'analyse de l'impact du projet sur l'environnement s'appuie sur un système d'information géographique (SIG) décrivant les données environnantes. Les SIG sont majoritairement 2D, avec une intégration faible avec les BIM ou autres maquettes.

Aucun logiciel ne peut traiter tous les types de structures rencontrés

Il n'existe à ce jour aucun logiciel capable de traiter tous les types de structures rencontrés dans un projet d'infrastructure. Plusieurs logiciels différents sont donc utilisés avec une interopérabilité quasi nulle.

La sauvegarde d'un modèle est un fichier unique

En général, la sauvegarde d'un modèle est un fichier unique qui ne distingue pas les différents objets. La gestion des versions se limite à la gestion des fichiers des sauvegardes sans identifications des modifications d'une sauvegarde à l'autre. De fait, c'est une gestion « manuelle » à la charge du projeteur.

I.2. Objectifs

Des enjeux majeurs pour le secteur du BTP

La maîtrise et le partage des informations sont des enjeux majeurs pour le secteur du BTP. Le Projet MINnD s'inscrit dans ce contexte et a notamment pour objectifs de :

- Donner à la filière de la construction les moyens de s'engager dans la voie du modèle unique de projet, basé sur sa représentation tridimensionnelle en objet.
- Permettre à chaque acteur de répondre à ses besoins à partir de ce modèle.
- Respecter les spécificités et les choix des acteurs du projet par l'interopérabilité.

Les applications et retombées attendues

Les applications et retombées attendues sont les suivantes :

- Structuration des informations à échanger dans les projets d'infrastructures.
- Définition des outils à développer pour favoriser l'interopérabilité.
- Spécification des plateformes collaboratives.
- Propositions de modification du cadre contractuel.

I.3. La gestion d'exigence

Un champ d'applications très vaste

La gestion des exigences fait l'actualité dans de nombreux secteurs industriels, économiques et politiques. Autant dire tout de suite que son utilisation couvre un champ d'applications très vaste, peut-être même encore plus étendu que celui de l'« Analyse fonctionnelle ».

Une exigence est un concept plus générique qu'une fonction...

Ceci s'explique par le fait qu'une exigence est un concept plus générique qu'une fonction. D'ailleurs, un lien étroit relie ces deux mondes et c'est ce que nous mettons en perspective tout au long de cette étude.

... qui peut être employé dans tous les domaines de la création humaine...

En réalité, le concept d'exigence est suffisamment générique pour être employé dans tous les domaines de la création humaine. Dans ce cas, il est naturel que se développe un marché spécifique avec l'arrivée d'acteurs qui offrent des solutions techniques et méthodologiques à ce nouveau challenge.

... et donnant lieu à une quantité importante de documents

Dans de nombreux métiers, l'expression de ces exigences donne lieu à une quantité importante de documents dont la cohérence et la qualité conditionnent le succès ou l'échec des projets concernés.

Les secteurs d'activités les plus friands de ce type de solutions

Parmi les secteurs d'activités les plus friands de ce type de solutions, on trouve bien entendu les industries aux produits les plus complexes et dont l'élaboration peut prendre :

- Entre 10 et 15 ans, comme l'aéronautique ou l'armement.
- Ou des cycles plus court 2/3 comme l'automobile.

Le secteur des télécoms est également consommateur de ces solutions, car il bouge très vite. Si une entreprise peut faire passer le temps de mise sur le marché d'un produit de 6 à 3 mois, elle est preneuse ! Du côté des banques, même intérêt, du fait des directives européennes (Bâle) et des normes IAS notamment. Le secteur de l'énergie nucléaire est actuellement très actif et demandeur pour la gestion des exigences de sûreté et de sécurité des centrales.

Une gestion des exigences qui diffère d'un secteur à l'autre

Cependant, la façon d'appréhender les exigences et leur gestion est différente selon le domaine d'utilisation et de la position relative de l'utilisateur dans ce domaine. En fait, ce qui fait essentiellement la différence, concerne la genèse des exigences, leur source, leur origine, d'où elles sont issues et leurs finalités.

L'ingénierie système : le premier à s'intéresser à la gestion des exigences

L'ingénierie système est historiquement la première à s'intéresser à la gestion des exigences. Il inclut bien évidemment l'ingénierie logicielle, qui est comme souvent, le principal moteur méthodologique de l'ingénierie. Ici, il s'agit de concevoir des produits, systèmes ou services conformes aux besoins des utilisateurs, dans les temps et dans les budgets.

L'origine des exigences

En IS, l'origine des exigences provient idéalement d'une activité amont : l'analyse fonctionnelle (AF), qui produit le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF), support originel des exigences, en théorie du moins. L'AF, étant elle-même dérivée de l'expression formelle du besoin. Pour plus de précisions, lire le cahier technique CASE France : « *L'analyse fonctionnelle pour les débutants* ». Dans l'industrie on parle d'ingénierie des exigences. C'est un élément du processus d'ingénierie qui est composé d'activités liées aux exigences, durant tout le cycle de vie du projet. Différents types d'exigences sont couramment utilisés :

- Les exigences de besoin.
- Les exigences fonctionnelles (fonctions de service).
- Les exigences non fonctionnelles (normatives, réglementaires...) des systèmes, produits ou services étudiés.

I.3 La gestion d'exigence

Des chiffres pour comprendre l'importance de la gestion d'exigences

Quelques chiffres permettant de comprendre l'importance de la gestion d'exigences (chiffres de 2009, source Gartner ®) :

- En 2009, les approches automatisées de gestion des exigences ont permis de réduire le « coût-qualité » des développements applicatifs (informatiques) de 30 % (avec une probabilité de 0,8).
- En 2009, le niveau de satisfaction des utilisateurs de systèmes moyens ou grands développés avec des processus de gestion des exigences suffisamment automatisés est passé de « Correct » à « Bon » ou l'équivalent (probabilité 0,8).
- En 2009, les coûts des phases de maintenance et d'extension des systèmes moyens à grands développés avec des processus de gestion des exigences suffisamment automatisés ont baissé de 10 % (probabilité 0,8).
- Depuis 2008, le marché des outils d'automatisation de la gestion des exigences (licences, services et maintenance) a dépassé les 400 millions de dollars par ans (probabilité 0,6).

Une équation entre coût et réussite d'un projet
Enquête IBM®

Lors d'une récente enquête IBM® :

- Les entreprises interrogées sur la gestion des exigences ont dit subir un coût atteignant parfois jusqu'à 60% en termes de temps et de budget lorsqu'elles utilisaient des pratiques médiocres de gestion des exigences (ndlr : on sous-entend ici : Word® et Excel®).
- Les entreprises dont les outils d'analyse métier étaient insuffisants enregistraient trois plus d'échecs de leurs projets que de réussites.
- Lorsque les exigences sont correctement définies et gérées, elles permettent de réduire de près de 20 % les dépassements de projets. Cette réduction est atteinte grâce à une réduction du nombre d'exigences inexactes, incomplètes ou oubliées.

Selon MAP®

Selon MAP® :

- 2/3 du coût final d'un système est déterminé lors de la formalisation des exigences.
- Un défaut détecté dès la spécification coûte 40 fois moins cher à corriger que s'il est détecté en phase de validation.
- La gestion des exigences est à l'origine de 40% des facteurs de réussite d'un projet.
- Une mauvaise ou une absence de gestion des exigences est à l'origine de 48 % des facteurs d'échec d'un projet.

Livrer des produits et des solutions conformes aux attentes

En ingénierie, la gestion des exigences et de leurs évolutions sur tout le cycle de vie d'un projet matériel, logiciel ou mixte, permet de livrer des produits et des solutions conformes aux attentes des utilisateurs, dans les délais impartis et supprime de nombreux problèmes de communication :

- Exigences floues ou ambiguës.
- Cahier des charges inexploitable.
- Manque de visibilité.
- Changements non contrôlés.
- Statut du projet inconnu.
- Analyse d'impact impossible à mener.

I.3 La gestion d'exigence

Les exigences sont la base de l'entente client-fournisseur

Les exigences sont la base de l'entente client-fournisseur, car elles forment un contexte contractuel avec un langage commun. De ce fait, l'ingénierie des exigences est une activité très importante du processus de fourniture et d'acquisition. D'autre part, elle contribue fortement à la qualité des produits. L'obtention de la qualité étant un processus itératif, les exigences sont donc sujettes à une forte évolution.

En résumé elles permettent de :

- Contribuer à augmenter la qualité.
- Mesurer précisément la conformité du système ou du logiciel par rapport aux besoins ou aux contraintes.
- Connaître précisément le statut du projet.
- Définir et gérer les tests associés.
- Évaluer et gérer les risques.
- Réduire le nombre d'insatisfactions liées au système ou au logiciel.
- Limiter l'interprétation, l'improvisation et la subjectivité sans pour autant mettre en cause la créativité.
- Donner une base commune de négociation, de développement, de tests et d'acceptation du système ou du logiciel.
- Faciliter les échanges entre les différentes parties prenantes (client, fournisseur ...).
- Organiser le développement et de maîtriser les coûts et les délais (notamment lors des phases d'intégration et de tests).
- Suivre l'évolution des changements.
- Faciliter la maintenance, maîtriser la pérennité (sécuriser, réduire l'effort).
- Atteindre le niveau 2 CMMI.

2. DES CONCEPTS ET DES NORMES

2.1. Application Life cycle Management

Du PLM à l'ALM, un transfert de best practices de l'industrie au domaine applicatif

L'intelligence embarquée : une des (r)évolutions majeures du début de 21^e siècle

Après avoir mis en place des démarches PLM pour la réalisation de systèmes physiques complexes, les industriels ont commencé à transposer le concept de gestion de cycle de vie au domaine du logiciel, sous la forme duale de l'Application Life cycle Management.

Rappelons à cet effet que « l'intelligence embarquée » dans les produits et systèmes constitue l'une des (r)évolutions majeures de ce début de 21^e siècle. Le nombre des objets intelligents et connectés dans le monde double tous les 2 à 3 ans et les multiplicateurs des volumes de logiciels sont également impressionnants.

Cette diffusion a été animée d'une part par le besoin de disposer d'un atelier logiciel structurant le développement autour d'un référentiel unique et homogène d'un point de vue applicatif. D'autre part, l'ingénierie des systèmes embarqués a établi des synergies entre ingénierie physique et ingénierie logicielle, conduisant à la nécessité d'étendre les démarches PLM au domaine logiciel et notamment du logiciel embarqué.

L'ALM, une réponse industrielle à la complexité applicative

Une traçabilité complète entre exigences fonctionnelles et techniques, processus métiers, tests associés

Une réponse satisfaisante à la gestion d'un parc applicatif complexe, hétérogène

L'Application Lifecycle Management est une réponse industrielle à la complexité du processus de développement logiciel et de la gestion « post-release ». Il permet d'assurer la cohérence des activités de l'ensemble des acteurs de la chaîne de production du logiciel, à la fois au niveau :

- De la conception.
- Du développement.
- Du test.
- De la mise en production.
- De la maintenance.

L'ALM repose sur une traçabilité complète entre exigences fonctionnelles et techniques, processus métiers, tests associés, qui permettent d'évaluer les impacts des changements. Elle s'avère donc déterminante par sa capacité à gérer les impacts induits par les modifications fonctionnelles et techniques, au travers de la localisation des effets d'impact de façon industrielle.

L'ALM permet aussi de réduire le coût des tests, grâce à des études précises et l'intégration d'automates pour le traitement des tâches répétitives, notamment en ce qui concerne les tests de non-régression.

Au-delà de l'efficacité que présente l'ALM au niveau d'une application donnée, il est également une réponse satisfaisante à la gestion d'un parc applicatif complexe, hétérogène, avec un volume de développement spécifique assez significatif.

2.1 Application Life cycle Management

L'ALM, valeur ajoutée pour les systèmes embarqués
Un système de gestion de chaque cycle de vie
L'ALM s'affirme dans l'informatique de gestion et dans l'industrie des systèmes embarqués

L'ALM apporte également une réponse industrielle à la gestion des systèmes embarqués et permet de remédier à la différence de cycles et de rythmes d'évolution du « soft » et du « hard » dans les systèmes embarqués. En effet, les matériels électronique, mécanique ou autre présentent généralement un cycle d'évolution plus long que le cycle d'évolution du logiciel embarqué.

Dans ce genre de configuration à double vitesse, il est important de disposer d'un système de gestion de chaque cycle de vie. Il s'agit :

- D'un système PLM pour la composante « hard ».
- D'un système ALM pour la composante « soft », à savoir le logiciel embarqué.

C'est ainsi que l'ALM s'affirme à la fois dans l'informatique de gestion et dans l'industrie des systèmes embarqués. Elle présente une réponse satisfaisante :

- À la maîtrise de besoins et exigences métiers rapidement évolutifs.
- Au besoin de mesure précise de la couverture des exigences.
- À l'assurance d'une conformité des systèmes aux standards ou normes industriels.

ALM, quelle définition ?
L'ALM, c'est plus que le SDLC
Une division en trois domaines distincts

Définir la gestion du cycle de vie des applications (ALM) n'est pas simple. Différentes personnes (et de différents éditeurs) abordent le sujet avec des perspectives très différentes. Pourtant, l'ALM est important, et comprendre ce que cela englobe est également important.

Il est courant d'assimiler l'ALM au cycle de vie du développement logiciel (Software Development LifeCycle - SDLC). Pourtant, cette approche est trop limitative ; l'ALM est beaucoup plus que le SDLC.

En fait, le cycle de vie des applications inclut tout le temps pendant lequel une organisation dépense de l'argent sur cet actif, de l'idée initiale à la fin de la vie de l'application. Pour être à la fois précis et utile, le point de vue sur l'ALM doit être tout aussi large.

L'ALM peut être divisé en trois domaines distincts : la gouvernance, le développement et les opérations. Comme une vie humaine, le cycle de vie d'une application est délimité par des événements importants.

1. Il commence par une idée : Pourquoi nous ne construisons pas quelque chose qui fait cela ?
2. Une fois que l'application est créée, l'événement suivant est le déploiement, lorsque l'application passe en production.
3. Et enfin, quand il n'a plus de valeur pour l'entreprise, l'application atteint sa fin de vie et est retirée du service.

La gouvernance, qui englobe la prise de décision et la gestion de projet pour une application, s'étend sur toute cette période, du début à la fin.

Le développement est le processus de création d'une application, allant des premières idées et jusqu'au déploiement. Pour de nombreuses applications, le processus de développement apparaît plusieurs fois dans la vie de l'application, à la fois pour les mises à niveau et pour de nouvelles versions.

Les opérations sont les travaux nécessaires pour faire fonctionner et gérer une application, cela nécessite généralement peu de temps avant le déploiement, puis une charge continue jusqu'à ce que l'application soit retirée du service. Chacun de ces trois domaines est important, et est présenté en détail.

2.1 Application Life cycle Management

<p>Le processus de Gouvernance</p> <p>La première étape : développer les métiers</p> <p>La gestion de portefeuille d'applications</p> <p>La gouvernance, seule activité qui s'étend sur toute la durée de l'ALM</p>	<p>Dans l'ALM, l'objectif de la gouvernance est de s'assurer que l'application fournit toujours ce dont a besoin l'entreprise.</p> <p>La première étape dans la gouvernance de l'ALM est le développement des cas métiers. Cette analyse arrive avant le début du processus de développement. Une fois que l'analyse métier est approuvée, le développement d'application démarre, et la gouvernance est mise en œuvre à travers la gestion du portefeuille de projets. Dans certaines organisations, un gestionnaire de projet peut être attaché à l'équipe de développement, ou l'un des techniciens de l'équipe peut assumer ce rôle. D'autres organisations utilisent une approche plus formelle, en s'appuyant sur une gestion de projet centralisée pour faire respecter les procédures établies. Avec certains processus, tels que Scrum, l'équipe de développement peut ne pas avoir de gestionnaire de projet formel.</p> <p>Une fois l'application déployée, le projet et la gouvernance de celui-ci deviennent une partie du portefeuille d'applications/projets devant être géré par l'organisation. L'organisation a besoin d'une compréhension continue des coûts et avantages de l'application. La gestion de portefeuille d'applications (Application Portfolio Management - APM) fournit cela, pour éviter la duplication des fonctions entre les différentes applications. L'APM fournit également la gouvernance pour les applications déployées, s'adressant à différents aspects tels que les mises à jour et les révisions majeures, quand celles-ci ont des impacts métiers et budgétaire. En examinant les activités de l'APM et la gouvernance plus en détail, nous nous rendons compte qu'il contient le développement des cas métiers et la gestion des portefeuilles projets pour chaque révision de l'application prévue dans la stratégie de développement.</p> <p>La gouvernance est la seule activité qui s'étend sur toute la durée de l'ALM. Il est, sans aucun doute, l'aspect le plus important de l'ALM et permet de maximiser la valeur de l'application.</p>
<p>Le processus de Développement</p> <p>Une série d'itérations</p> <p>Déploiement de l'application</p>	<p>Bien qu'assimiler l'ALM avec le processus de développement de logiciels n'est pas exact, le développement est certainement un des éléments fondamentaux du cycle de vie de chaque application customisée.</p> <p>Une fois les cas métiers approuvés, le cycle de développement logiciel commence. Un processus moderne montrerait probablement le développement de logiciels comme une série d'itérations. Chaque itération devrait contenir une définition des exigences, une phase de conception (classification par fonctions), une phase de développement, et une phase de tests. Ce processus itératif de développement n'est pas toujours approprié. Certains projets utilisent des méthodes plus traditionnelles telles que le développement en cycle en V. Cependant, les développements et stratégies itératives deviennent de plus en plus la norme de référence dans de nombreux domaines.</p> <p>Une fois que le processus SDLC pour la version 1 de l'application est réalisé, l'application est déployée. Il est important de noter que le déploiement de l'application ne marque pas la fin de son développement. Effectivement, pour créer de nouvelles versions, l'application a besoin :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De mises à jour. • De nouvelles fonctionnalités. • Peut-être d'un déploiement en plusieurs phases nécessitant différentes itérations. • Peut-être d'un ou plusieurs cycles pleins de SDLC. <p>Pour certaines applications, l'argent consacré à ces mises à jour et les nouvelles versions peut dépasser le coût de l'élaboration initiale d'un montant significatif.</p>

2.1 Application Life cycle Management

**Le processus
Opérationnel**
**Suivi des applications
déployées**

Chaque application déployée doit être surveillée et gérée. Comme avec la gouvernance, la stratégie d'opérations est intimement liée à la stratégie de développement. Par exemple, la planification de déploiement commence probablement peu de temps avant que l'application soit terminée de développée (anticipation sur les besoins d'infrastructure, etc.). L'acte de déploiement lui-même est un élément fondamental pour les opérations.

Une fois que l'application est déployée, elle doit être suivie pendant toute sa durée de vie. De même, chaque mise à jour de l'application doit être déployée une fois qu'elle est terminée. L'ensemble de ces actions représentent les opérations qui :

- Interviennent sur une application tout au long de son cycle de vie.
- Permettent de la maintenir en fonctionnement par rapport à un besoin métier qui évolue et s'enrichit.

**Les 3 aspects présentés
sont importants et
jouent un rôle majeur**

L'ALM est beaucoup plus que juste l'écriture de code ou le développement d'application. L'ensemble des trois aspects présentés - gouvernance, développement, et opération - est important et joue un rôle majeur.

Il est très difficile de construire et déployer une solution répondant aux véritables cas métiers et surtout aux besoins réels des utilisateurs si un projet n'a pas les aspects initiaux de gouvernance. Par exemple, peut-être :

- Par une mauvaise compréhension des besoins de l'entreprise.
- Ou, par une mauvaise représentativité des acteurs métiers clés à impliquer.

**Maximiser la valeur des
applications développées**

Maximiser la valeur des applications développées grâce à l'optimisation des trois domaines explicités ci-dessus n'est pas chose facile surtout que les outils ALM sur le marché aujourd'hui ne sont pas intégrés de façon optimale. Il n'existe pas de moyen, aujourd'hui, de réellement contourner de manière outillée cela.

2.2. Product Life cycle Management

Le PLM, qu'est que c'est ?

La Gestion du Cycle de vie des Applications (ALM) s'attache à capitaliser et gérer les différentes phases d'une application :

- Gestion des exigences.
- Déclinaisons des exigences.
- Code source.
- Tests.
- Gestion des faits techniques.
- Gestion de configuration.

La démarche de PLM (Product Lifecycle Management) consiste à capitaliser toutes les informations concernant un produit industriel.

**Une démarche à
rapprocher du KM**

Le PLM est une démarche à rapprocher du Knowledge Management, si ce n'est qu'elle est axée autour du produit et des processus de l'ingénierie et de la fabrication. L'objectif du PLM est de permettre aux entités de l'entreprise, de la production à la vente, de partager la connaissance des stades du cycle de vie d'un produit :

- Conception.
- Fabrication.
- Stockage.
- Transport.
- Vente.
- Service après-vente.
- Recyclage.

2.2 Product Life cycle Management | Le PLM, qu'est que c'est ?

Un rapprochement fort avec l'ERP de l'entreprise et avec les outils de gestion de la relation client

L'approche du PLM implique nécessairement un rapprochement fort avec :

- L'ERP de l'entreprise afin de rassembler les informations liées aux étapes de fabrication du produit.
- Les outils de Gestion de la Relation Client, pour prendre en compte les retours des clients.

Le PLM, une approche holistique du produit

Le PLM (Product Lifecycle Management) ou gestion du cycle de vie du produit, est une approche holistique du produit, de l'idéation à la gestion de sa fin de vie en passant par toutes les étapes de conception et fabrication, voire d'évolution, maintenance et montée en gamme. Il est un concept que l'entreprise met en œuvre moyennant une organisation transversale, des processus, des outils et des applications informatiques.

Les étapes d'une « solution PLM »

Selon le type de produit, les étapes d'une « solution PLM » peuvent inclure :

- Le cahier des charges et la gestion des exigences du produit et des services associés.
- La conception la simulation et l'industrialisation.
- Le mode de production et le mode marketing associé.
- Le mode de stockage éventuel.
- Le mode de distribution.
- Le service client.
- Les évolutions du produit.
- La fin de vie du produit et sa gestion.

Historique : les premiers périmètres fonctionnels informatisés

Historiquement, l'informatisation progressive des entreprises industrielles et le développement des offres en matière de progiciels ont permis l'émergence dans les années 80/90 « d'îlots » d'automatisation autour des fonctionnalités et applications suivantes :

- Conception assistée par ordinateur (CAO/CAD).
- Simulation numérique (IAO/CAE).
- Gestion de documents techniques (GDT/ PDM).
- Gestion de projets (GP/PMO).

Émergence des « suites PLM »

À partir de la seconde partie des années 90, quelques éditeurs de logiciels ont tenté et réussi l'intégration de tout ou partie de ces différentes fonctions. Ils ont ainsi créé de véritables « suites PLM », à l'instar des évolutions de l'informatique de gestion vers les ERP.

Un enjeu cristallisé autour de « référentiels produits »

L'enjeu de ces systèmes d'information et de leur efficacité s'est largement cristallisé autour de « référentiels produits », intégrant :

- Les exigences produit.
- L'architecture système.
- Les spécifications techniques.
- Les solutions fonctionnelles.
- Tout ce qui est nécessaire à la production et au maintien en conditions opérationnelles.

2.2 Product Life cycle Management | Émergence des « suites PLM »

Un des 4 piliers de l'entreprise numérique

Progressivement au cours des années 2000, le PLM gestionnaire des processus de développement s'est imposé parmi les 4 piliers de l'entreprise numérique aux côtés :

- Du CRM (gestion de la relation client).
- Du SCM (gestion de la chaîne logistique).
- De l'ERP (gestion intégrée).

Des niveaux de maturité différents selon les secteurs

Cependant les niveaux de maturité des usages sont très différents selon les secteurs. L'Aéronautique & Défense et l'Automobile ont constitué les principaux débouchés des applications PLM et ceux où le degré de maturité et de sophistication des usages s'est avéré le plus important.

En termes fonctionnels, le domaine des outils de conception est mature avec un fort taux d'équipement en France. Ceci est plus accentué chez les bureaux d'études mécaniques. Toutefois, ces derniers ont été progressivement rattrapés par les bureaux d'études électroniques et software avec l'évolution rapide de leurs technologies.

Le PLM, système critique et transversal au service de l'entreprise

Le PLM a donc connu bien des mutations sur le plan de la maturité et de l'investissement, compte tenu notamment de :

- La criticité de plus en plus forte du système PLM.
- Son nouveau positionnement, à l'interface de plusieurs fonctions importantes de l'entreprise.

Une prise de conscience s'est opérée de la part des utilisateurs

Une prise de conscience s'est donc opérée de la part des utilisateurs. En effet, ils voient de plus en plus ces applications comme un moyen :

- Pour dépasser les silos organisationnels entre différentes fonctions structurantes de l'activité économique.
- Un moyen efficace d'optimiser les efforts d'innovation et de gagner en compétitivité.

Deux grands segments

Au sein de l'activité PLM classique, nous pouvons donc distinguer 2 grands segments :

Segment	Description
CAO (Conception assistée par ordinateur)	Regroupe les logiciels destinés à la définition et la modélisation d'un produit donné. On peut rattacher à ce niveau d'autres modules apparus plus récemment tels que la gestion de la maquette numérique. Ce module permet une représentation numérique étendue du produit, utilisée comme plate-forme de : <ul style="list-style-type: none"> • Prototypage virtuel. • De développement. • De validation. • De communication durant toutes les phases de la vie du produit.
PDM (Product Data Management)	Regroupe tous les logiciels permettant aux industriels de gérer les données d'ordre technique d'un produit. Ces données peuvent être liées à la définition et conception du produit comme aux procédés utilisés pour les fabriquer. Il s'accompagne généralement d'outils de gestion des configurations, des modifications et des compétences métier. Par ailleurs, la proximité doit être très forte avec : <ul style="list-style-type: none"> • Les systèmes de FAO (Fabrication assistée par ordinateur) et de MES (Manufacturing Execution Systems). • Des ERP qui sont souvent considérés comme le cœur informationnel.

2.2 Product Life cycle Management

De nouvelles extensions au périmètre PLM

Plus récemment, sous la pression des besoins d'optimisation des processus et d'intégration, eux-mêmes liés aux enjeux de compétitivité et de réduction des coûts, sont apparus dans le monde PLM d'autres concepts :

Concept	Description
ALM (Application Lifecycle Management)	Un modèle de gestion globale du cycle de vie d'un logiciel, de la capture des exigences à la maintenance, en passant par la conception, le développement et le test. Il permet d'assurer la gestion des configurations et des changements tout au long du cycle de vie.
SLM (Services Lifecycle Management)	Un processus de gestion des services associés aux produits, notamment les services après-vente des industriels, dans l'optique de les optimiser et de faciliter la remontée d'informations des produits en opération vers les bureaux d'études. On verra dans la suite du document les enjeux et les avantages de ces extensions en cours, illustrés par des cas concrets et des « verbatim » issus des réalisations récentes.

2.3. Building Information Modeling

Le BIM, qu'est-ce que c'est ?

Le BIM - Building Information Modeling - est une technologie et des processus associés pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction (Eastman, 2011). Le BIM se définit à la fois comme :

- Un processus de gestion et de production de données.
- Un modèle unique du bâtiment.
- Un logiciel parce qu'il fonctionne en intégrant une série de logiciels.

Un modèle 3D intelligent

La technologie BIM est un processus qui implique la création et l'utilisation d'un modèle 3D intelligent pour prendre de meilleures décisions concernant un projet et les communiquer. Les solutions BIM permettent aux équipes de concevoir, visualiser, simuler et collaborer plus facilement tout au long du cycle de vie du projet. La technologie BIM permet d'atteindre plus facilement les objectifs d'un projet et de l'entreprise. Bien que le BIM facilite la conception, il ne la formalise pas dans des phases en amont de la réalisation. Il s'agit plutôt d'un ensemble d'outils conceptuels visant à faciliter la conception et la communication autour d'un projet de construction/rénovation.

En définissant une vision BIM appuyée sur des processus et des workflows, les entreprises de toutes tailles peuvent tirer le meilleur des solutions BIM. Découvrez les informations, études de cas et services liés au processus BIM qui vous aident à planifier et à réaliser votre transition dans les meilleures conditions.

Des investissements de nombreuses entreprises

De nombreuses entreprises investissent dans la modélisation des informations du bâtiment (BIM) pour améliorer leurs processus de conception et de documentation, sans oublier l'important retour sur investissement qui en découle. Le BIM permet en effet :

- D'élaborer des plans marketing plus efficaces.
- D'obtenir des marges plus importantes.
- De garantir une qualité supérieure grâce à une meilleure connaissance des projets.

La norme des futurs marchés publics de travaux

Lors de la refonte des directives européennes relatives aux marchés publics début 2014, les textes ont promu l'usage du BIM comme devant devenir la norme lors des futurs marchés publics de travaux. Chaque pays européen réalise la transposition des directives dans son droit national. En France, le secteur de l'ingénierie se réjouit de la systématisation probable de cet outil, tout en avertissant du fait que la maîtrise d'ouvrage et les entreprises du BTP doivent elles aussi apprendre à manier cet outil.

2.3 Building Information Modeling

Fonctionnement – Mode Actuel

Jusqu'à présent et pour quelques temps encore, les flux de données produits et la géométrie de l'ouvrage nécessitent de nombreuses ressaisies de l'architecte à l'exploitant, en passant par :

- Les maîtres d'œuvres.
- Les bureaux d'études.
- Les entreprises.
- Les sous-traitants.

Les documents spécialisés et les procès-verbaux d'essais nécessaires aux prescripteurs pour élaborer leurs offres et appels d'offres sont difficiles à trouver et à interpréter. Les informations sont par conséquent saisies de façon non standardisée et non régulière (en fonction de ce qui est communiqué par l'industriel).

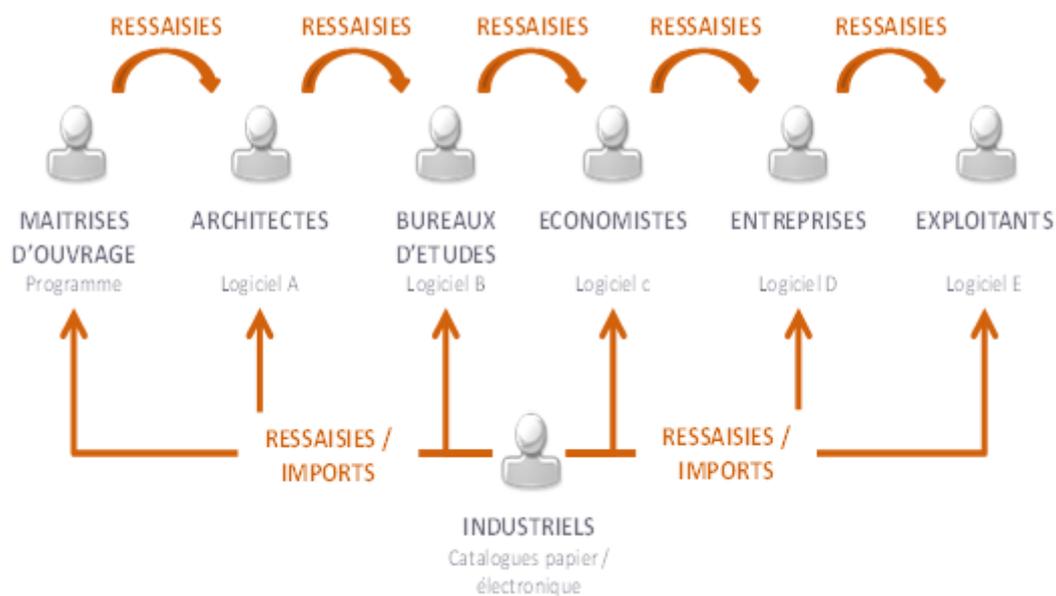


Figure 1: Fonctionnement de la construction actuelle

2.3 Building Information Modeling

**Fonctionnement :
En Devenir**

La construction du siège social d'Hérault Energies, à Pézenas (34), s'est achevée en juillet 2012. L'objectif était de construire un bâtiment exemplaire à énergie positive, grâce à une conception bioclimatique, un très bon niveau d'isolation et des systèmes techniques performants.

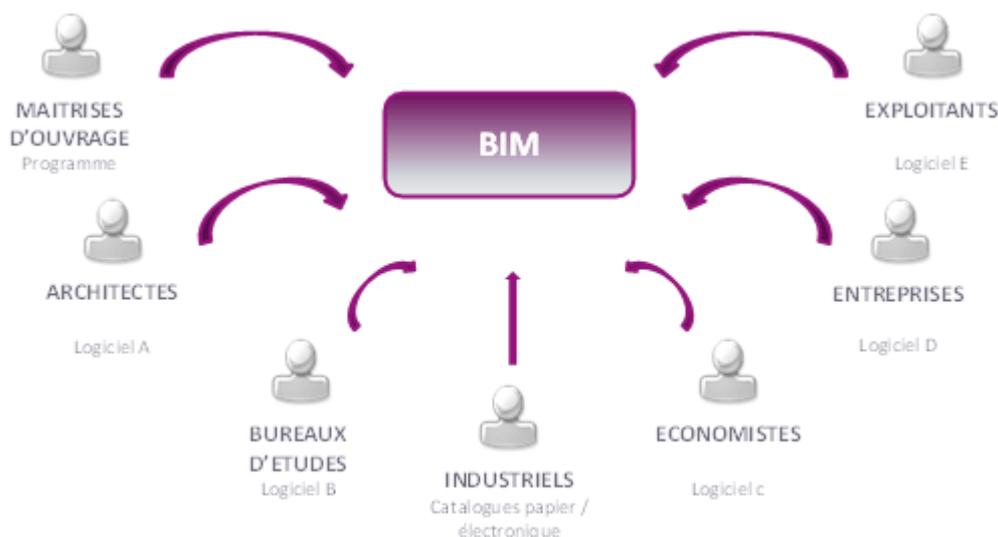


Figure 2: BIM, architecture en devenir

**Les coûts liés au manque
d'interopérabilité**

Une étude réalisée en 2010 par la FFB (Fédération Française du Bâtiment) a révélé que le manque d'interopérabilité coûte environ 40 € par m² de SHON pour les entreprises. Les principaux coûts sont liés à la ressaisie manuelle des informations et à la durée des chantiers, que l'on pourrait réduire si tous les flux d'informations étaient interopérables. Les coûts annuels de non-qualité du secteur de la construction en France imputables aux défauts d'interopérabilité sont estimés à 15 milliards d'euros. Une étude américaine portant sur la filière du bâtiment confirme cela. En effet, elle estime la réduction des coûts des défauts d'interopérabilité à 53€/m² pour l'ensemble des intervenants d'une opération.

**Un frein à la diffusion
de l'innovation**

Un autre phénomène ou conséquence n'est pas appréhendé dans l'estimation de l'impact économique qui précède. Il s'agit du frein à la diffusion de l'innovation :

- Pénétration sur le marché de produits allant dans le sens de la construction durable.
- Capacité à simuler de nouveaux systèmes constructifs potentiellement synonymes de performance accrue.
- Etc.

**Des difficultés à s'engager
sur les garanties de
résultats**

Le corollaire sont les difficultés grandissantes des acteurs à s'engager sur les garanties de résultats imposées par les nouvelles réglementations :

- La RT 2012 et le plan construction durable par exemple en France.
- Plus généralement dans le monde, l'ensemble des réglementations déployées pour favoriser la lutte contre le changement climatique et la réduction de l'empreinte écologique.

**La maquette numérique
ou le BIM**

Maquette numérique ou BIM est le processus de production et de gestion des données de construction tout au long des phases de conception, étude, construction et exploitation voire démolition d'un bâtiment. Elle s'appuie sur le format IFC, qui est un format de fichier orienté objet utilisé notamment par l'industrie du bâtiment pour échanger et partager des informations entre logiciels.

2.3 Building Information Modeling | Fonctionnement : En Devenir

L'automatisation du transfert de données

Jusque-là, la saisie manuelle des données mobilisait de façon répétitive des professionnels qualifiés sur des tâches de bas niveau. L'automatisation du transfert de données leur permet de réaliser des tâches en harmonie avec leurs compétences et à une meilleure valeur ajoutée. Cela développe le niveau de professionnalisation des personnels de la construction, créant un avantage compétitif international générateur d'emplois.

Vers l'engagement de résultats

Pour passer de l'engagement de moyens à l'engagement de résultats, il y a nécessité d'intégrer les données des produits réels dans la maquette numérique. L'information produit ne doit pas se limiter à l'objet géométrique. C'est souvent le cas dans l'esprit des personnes qui connaissent peu le sujet, d'où la nécessité de faire preuve de beaucoup de pédagogie sur ce point. L'information produit doit se limiter à un objet au sens informatique du terme, qui est enrichi d'informations utiles au dimensionnement de l'ouvrage :

- Thermique.
- Acoustique.
- Feu.
- Environnement.
- Structure.
- Économie.
- Logistique.
- Etc.

La géométrie doit être considérée comme un attribut du produit

Nous estimons que l'objet géométrique copie virtuelle du produit n'a de sens que dans 20 % des cas (lorsqu'il se voit et que sa représentation aide à valoriser le projet), alors que les descriptifs (100 %), environnement (à terme 100 %/ Réglementation Environnementale 2020), thermique & acoustique & feu (environ 50 %) ...

Dans ces conditions la géométrie doit être considérée comme un attribut du produit au même titre que toutes les autres propriétés. La granulométrie de l'information doit être à géométrie variable en fonction des utilisateurs et des phases du projet (notion de LOI : level of information du composant). Qui peut croire que l'on puisse choisir dès la phase esquisse le produit final avant d'avoir fait toutes les études servant au dimensionnement de l'ouvrage ?

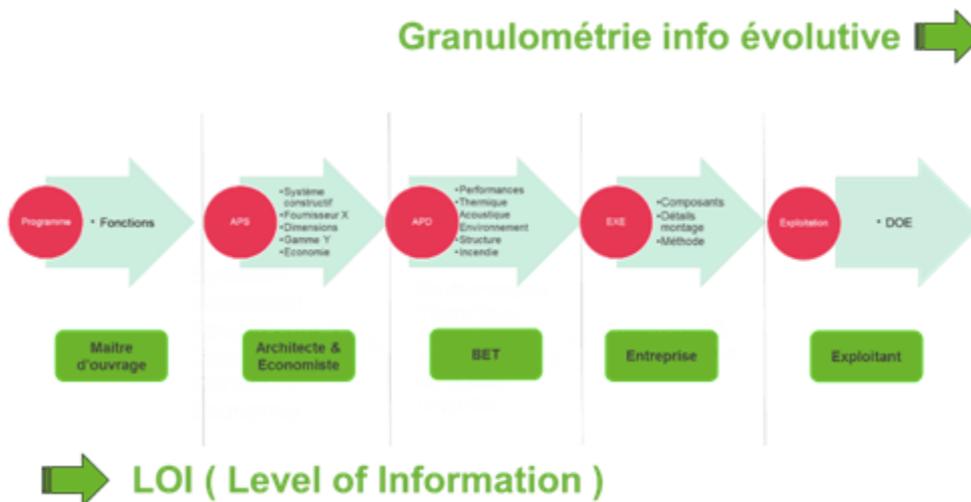


Figure 3: Produit, attribut et intervenant

2.3 Building Information Modeling | Vers l'engagement de résultats

L'objet peut être un système constructif

L'objet peut être un système constructif. Nous rappelons que les progrès accomplis par des secteurs tels que l'aéronautique, l'automobile, la construction navale et la construction ferroviaire ces dernières décennies reposent sur le déploiement de l'ingénierie système. Un projet de construction est un projet unique, mais les systèmes constituant l'ouvrage sont reproductibles.

La maquette est un formidable outil pour favoriser « le travailler ensemble » cher à Monsieur Philippe Pelletier, président du Plan Bâtiment Durable, qui permet de capitaliser les expériences et savoir-faire. Patrick Serrafero est professeur associé à l'École Centrale de Lyon, expert en mécatronique et modélisation de la connaissance. Depuis plus de 10 ans, il développe chaque année une voiture de compétition avec une équipe de 20/30 élèves ingénieurs. Chaque année son équipe est totalement renouvelée ce qui correspond bien à la contrainte de gestion des projets de construction.

Il y a 13 ans la voiture ressemblait plus à un kart, aujourd'hui la voiture est devenue une voiture de course digne de courir les 24h du Mans, hybride consommant de l'éthanol... La preuve que l'on est capable de capitaliser la connaissance, même sur des projets dont l'ouvrage est unique pour que chaque expérience puisse enrichir la suivante.

L'accès à des catalogues de produits et systèmes d'industriels

Ce qui est utile aux prescripteurs, c'est l'accès à des catalogues de produits et systèmes d'industriels :

- Exhaustifs, et pas un échantillon présentant la promotion du moment.
- Structurés avec une information de qualité et mise à jour en permanence.

Pour que les industriels puissent répondre à cette demande, il y a nécessité de décrire les catalogues dans un format unique ouvert (justifiant ainsi les travaux de normalisation encourus) et pas dans 30-50-150... formats propriétaires. Vous comprendrez aisément que ce n'est pas réaliste ni économiquement et ni techniquement.

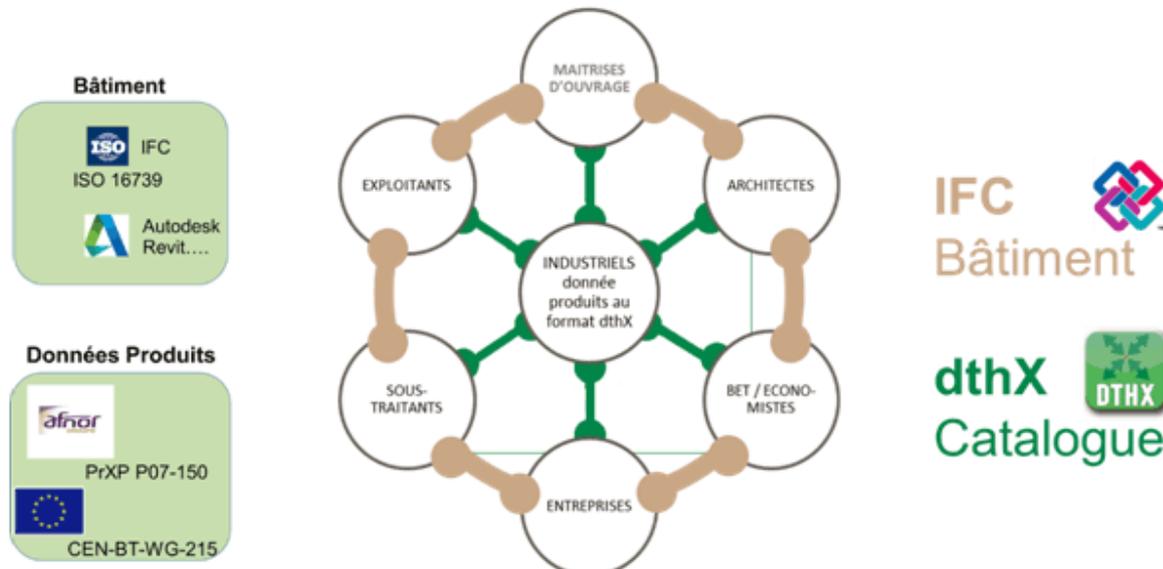


Figure 4: Les flux et standards du BIM

2.3 Building Information Modeling | Vers l'engagement de résultats

L'accès à des catalogues de produits et systèmes d'industriels

Le téléphone portable ne s'est développé que parce que les opérateurs se sont mis d'accord sur des standards partagés. Imaginez que vous devriez avoir autant de téléphones en poche que d'opérateurs... Dans ces conditions, le téléphone mobile serait mort-né. Et pourtant, il y a beaucoup moins d'opérateurs téléphoniques que d'éditeurs de logiciels pour la construction.

- L'industriel va devoir faire un investissement pour dématérialiser et structurer son catalogue produits/systèmes. Il doit pouvoir entrevoir un retour sur investissement. Améliorer le suivi de ses actions de prescriptions est à mon avis une piste sérieuse.
- Les propriétés des produits sont généralement certifiées par un organisme tiers avec la production d'un procès-verbal d'essais, rapport d'essais, avis technique, FDES... Imaginons que les organismes en charge des essais soient dans l'obligation de produire un fichier structuré des propriétés certifiées accompagnant le document texte remis à ce jour sous forme de PDF ou papier. La production de données structurées qui, aujourd'hui est quasiment inexistante, deviendrait importante rapidement et beaucoup plus facilement exploitable sans surcoût pour la filière de la construction.

2.4. La norme PLCS

Présentation de la norme PLCS

La norme PLCS (Product LifeCycle Support) est issue de la norme ISO STEP (ISO 10303-239) qui a pour but de faciliter et standardiser la communication entre les systèmes d'informations. Le modèle est représenté par la figure ci-dessous.

Cette norme permet de conserver la cohérence, la maintenabilité, l'échangeabilité et la pérennité des données tout au long de leur cycle de vie quels que soient les systèmes d'informations.

La force de la norme ISO 10303-239 est de fournir un modèle d'information flexible dans le cadre de la série des normes ISO STEP qui permet d'adapter le modèle d'information selon le secteur et l'organisation. Ceci est possible grâce à un échange de données informatisé et normalisé.

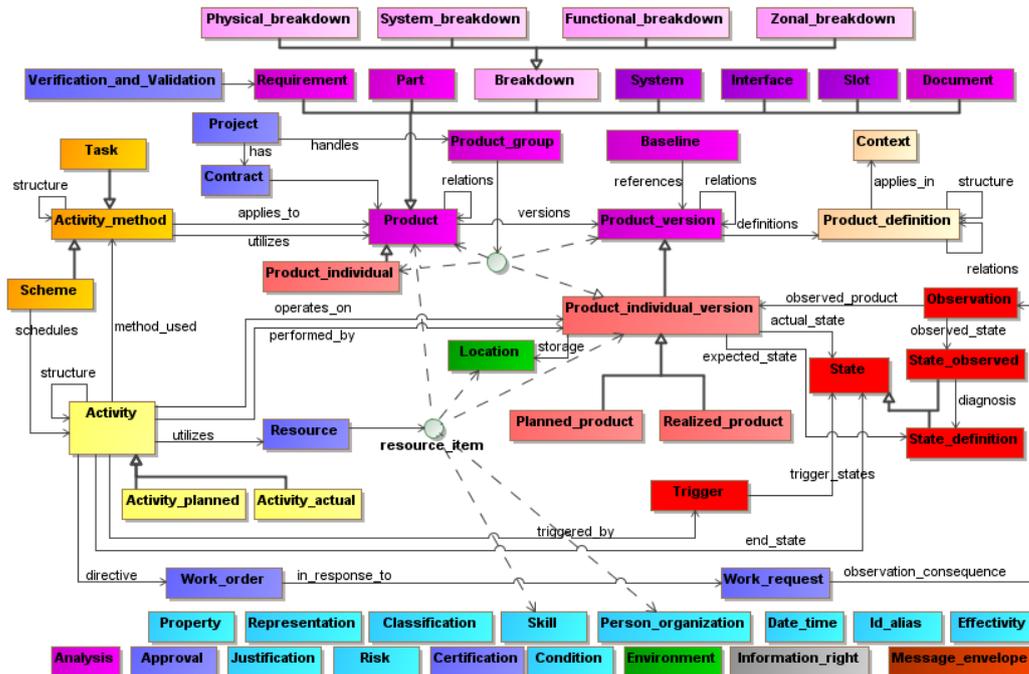


Figure 5: PLCS modèle

2.4 La norme PLCS

Présentation d'un cas métier

Cette vue d'ensemble métiers explique pourquoi la norme (ISO 10303-239, PLCS) adressant le PLCS peut réduire les coûts et améliorer les profits :

- Pour toute partie prenante avec un rôle dans la spécification, la conception, la fabrication, l'exploitation ou le support des ensembles complexes tels que des avions, des systèmes d'armes et des projets d'infrastructure.
- À n'importe quel niveau de la chaîne d'approvisionnement.
- À n'importe quelle étape du cycle de vie.

Maximiser les revenus au cours du cycle de vie de leurs produits

En septembre 1999, la Harvard Business Review a publié un article de Richard Wise, Peter Baumgartner. Cet article encourageait les entreprises dont les marges étaient sous la pression croissante de la concurrence mondiale à aller « à contre-courant ». L'objectif était de maximiser les revenus au cours du cycle de vie de leurs produits.

Les OEMs pour exploiter les opportunités du marché

Les OEMs (Original Equipment Manufacturer) sont idéalement placés pour exploiter les opportunités du marché. C'est le cas par exemple, dans le secteur de la défense où la clientèle « ciblée » correspond maintenant au fournisseur « poussé » par des initiatives gouvernementales. Ces dernières favorisent toujours une plus grande participation de l'industrie dans des activités après-vente, y compris le soutien aux opérations et mises à niveau.

La capacité à gérer avec précision et efficacité les informations complexes

Les principaux facteurs de ce changement comprennent des contrats de logistique basés sur la performance, étant placés par le DoD (Department of defense), et la stratégie industrielle de défense du Royaume-Uni avec l'initiative TLCM (Through Life Capability Management). La Norvège et la Suède s'orientent également fortement dans la même direction.

Une exigence clé de la réussite après-vente est la capacité à gérer avec précision et efficacité les informations complexes liées à la conception de produits, l'exploitation et le soutien sur des périodes mesurées depuis des décennies. La norme « ISO 10303-239 Application Protocol : Product Life Cycle Support » a été créée pour répondre à ce besoin. Elle a été développée conjointement par un consortium commercial des propriétaires exploitants, équipementiers et éditeurs de logiciels :

- Les ministères de la Défense du Royaume-Uni, des États-Unis, de la Norvège, de la Finlande et de la Suède.
- Boeing, Lockheed Martin, BAE Systems, Rolls Royce, Saab et DNV, plus PTC, EDS, Baan, IFS, Pennant ATI, Eurostep Limited et le Groupe LSC.

Des travaux préalables ont créé les spécifications standard d'échange de données (DEXs) qui ont facilité et facilitent grandement la mise en œuvre du PLCS, et donc, permettent de réaliser les bénéfices décrits ci-dessus.

2.4 La norme PLCS

Présentation des problématiques

Les entreprises engagées dans la gestion d'ensembles complexes à travers le temps font face à des challenges de la gestion de l'information :

- Une grande partie des données nécessaires au support découle des processus de conception et de fabrication des produits, où les exigences d'information de support sont rarement un objectif principal.
- Les activités de support croisent de nombreux systèmes et frontières organisationnelles. Cela rend difficile d'imposer « une solution unique » pour la collecte et la consolidation de données.
- L'obsolescence, les mises à jour et les modifications du contexte opérationnel peuvent créer des problèmes majeurs dans le maintien de l'alignement entre la configuration des systèmes réels et celle des données techniques qui spécifie nécessairement le support.
- L'optimisation de la prestation de support, et les opérations de gestion de la performance dépendent de façon cruciale de la capture des retours adéquats du domaine dans lequel le produit est en service.
- L'importance de ces retours est souvent dépendante du contexte, mais aussi des relations qui permettent un tel contexte - par exemple, la nature de la mission, ou la configuration précise du produit en question - sont perdues lorsque les retours sont capturés.

Le but du PLCS

Le but du PLCS était de créer un modèle d'information accepté internationalement - restant valable pour plusieurs décennies - pour permettre :

- Des échanges d'informations ouverts.
- La consolidation des données nécessaires pour répondre aux questions ci-dessus.

Cet objectif est résumé par la figure ci-dessous.

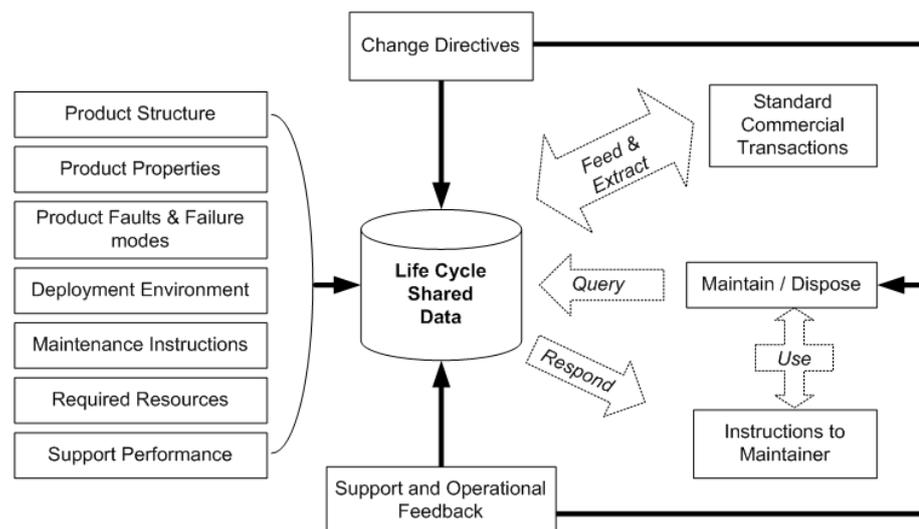


Figure 6: la vision PLCS

2.4 La norme PLCS

<p>Origines et participants</p> <p>Poursuite des travaux sous le PLCS Comité technique d'OASIS</p>	<p>Les initiales « PLCS » ont été créées en 1996, mais le développement d'une communauté avec les ressources suffisantes et la crédibilité nécessaire pour développer la norme elle-même prit un certain temps.</p> <p>Les travaux ont porté leurs fruits en 1999. Les clients, les fournisseurs et leurs systèmes d'achats ont reconnu la pertinence de STEP. Ils ont donné l'élan autour duquel une entreprise « PLCS, Inc. » a été formée pour élaborer la norme ISO 10303-239 comme une extension de la norme STEP -ISO 10303. La norme ISO 10303-239 s'est largement inspirée, et a contribué, aux travaux de la norme STEP pour développer un schéma de données harmonisées pour la gestion des données produits (Product Data Management – PDM). La norme ISO 10303-239 a été publiée en tant que norme internationale complète en 2005. ISO 10303-239 édition 2 qui étend le scope originel et offre une meilleure harmonisation avec les autres normes STEP (comme la norme AP233 Systems Engineering) a été publié en 2011.</p> <p>Bien que PLCS, Inc. a été dissous en 2004 lorsque la norme a été livrée à l'ISO, les travaux ont continué grâce aux publications sous le PLCS Comité technique d'OASIS. Le passage à OASIS a été consciemment fait pour dialoguer directement avec la communauté XML, et les évolutions des technologies de l'information utilisées pour les échanges.</p>
<p>Le périmètre d'activité</p> <p>La relation avec la chaîne d'approvisionnement</p> <p>Limiter la portée du PLCS</p>	<p>Le périmètre d'activité du PLCS a changé légèrement par rapport aux premiers travaux. L'objectif initial du PLCS était de répondre à quatre grandes fonctions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestion de la configuration. • Ingénierie de support. • Gestion des ressources. • Maintenance et retours. <p>Le premier changement important concerne la relation avec la chaîne d'approvisionnement. Il est devenu évident que la « gestion des ressources » n'était qu'un aspect d'un processus de la chaîne d'approvisionnement. Plusieurs normes de messageries transactionnelles reconnues existaient déjà pour répondre aux exigences de la chaîne d'approvisionnement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • OAGIS 9,0. • RosettaNetand ebXML. • Un certain nombre spécifique à ce domaine tel que Exostar et Covisint. <p>Il a donc été décidé de limiter la portée du PLCS à la génération d'une demande d'alimentation qui est une sortie naturelle de la planification de l'entretien - et de la réception d'une réponse de l'offre. Cette décision a été justifiée par les événements ultérieurs. Effectivement, PLCS et OAGIS 9 ont été sélectionnés par le MOD britannique comme les normes pour la gestion des informations logistiques futures.</p>

2.4 La norme PLCS

Les composantes

Le PLCS comporte trois composantes principales :

- La vision de l'entreprise.
- Un modèle d'activité.
- Un modèle d'information.

La vision de l'entreprise

La vision de l'entreprise a été brièvement décrite ci-dessus. Le concept clé est la création d'une source unique pour le produit et les informations de support pour une utilisation dans toute l'entreprise. Ces informations sont nécessairement créées dans de nombreux CAO et systèmes informatiques (MRP, ERP, AMDEC, LSAR, etc.). En revanche, pour réaliser une vision dans son intégralité, les informations doivent être consolidées pour créer les liens nécessaires entre explicite et articles connexes.

Cette vision de l'entreprise est importante, car elle permet une amélioration majeure dans la qualité et l'efficacité par rapport aux pratiques courantes. Actuellement, certaines capacités d'échange point à point ont été établies. Toutefois, les informations nécessaires pour apporter un support efficace existent généralement dans de nombreux systèmes informatiques différents, utilisés par de nombreuses organisations pour les différentes fonctions de l'entreprise à travers les différentes phases du cycle de vie.

Des difficultés particulières sont souvent identifiées à la frontière de différents domaines OEM et entre utilisateurs finaux, dont aucun n'a un accès approprié à l'information créé par l'autre. En conséquence, l'information qui existe déjà :

- Doit être régénérée, reformatée ou ressaisie manuellement avec une prolifération d'erreurs au fil du temps.
- Ou les gestionnaires/concepteurs sont obligés de prendre des décisions fondées sur des informations incomplètes ou inexactes.

L'impact des erreurs et omissions liées à l'information est rarement mesuré par des comptes. Toutefois, de telles erreurs engendrent des coûts importants et des retards à de nombreux processus métiers.

Le modèle d'activité

La deuxième composante est le modèle d'activité qui illustre les processus et les flux d'information dans le périmètre du PLCS. Ce modèle fournit le contexte pour les échanges de données potentiels à travers le cycle de vie. Ce modèle peut être utilisé pour identifier les interfaces d'information à travers les différentes activités du cycle de vie produit. La vision et le modèle d'activité ont un statut « informatif » dans la norme ISO.

2.4 La norme PLCS | Les composantes

Le modèle d'information

La troisième et principale composante de la norme est le modèle d'information. Écrit en EXPRESS. Il s'agit du langage de modélisation de données formelle utilisée par STEP. Le modèle d'information est aussi disponible en XML. Il fournit un modèle de données complet, générique et extensible qui identifie les principales entités/activités, les attributs et les relations nécessaires pour réaliser une vision d'ensemble. Les concepts clés du modèle d'information sont présentés dans la figure ci-dessous.

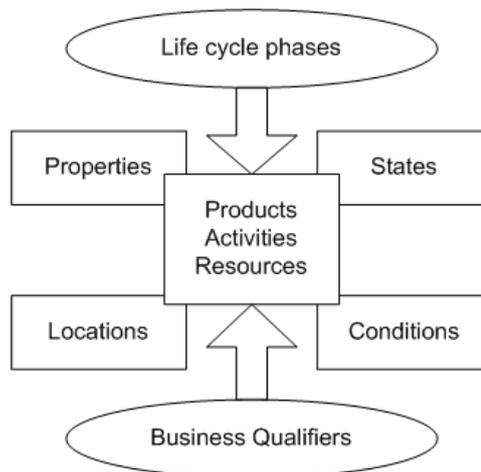


Figure 7: les concepts clés du modèle d'information PLCS

La mise en œuvre de la vision PLCS complète dans une entreprise

C'est une vue de très haut niveau. Le modèle PLCS donne une vue plus précise des concepts que le PLCS peut supporter.

Parce que le modèle est générique, il doit aussi être extensible. Une tâche de maintenance, par exemple, est modélisée comme un type « d'activité », lié aux ressources nécessaires. En reclassifiant l'activité comme « opérationnelle » les mêmes constructions peuvent être utilisées pour répondre à l'utilisation du produit ou d'autres activités opérationnelles, même si celles-ci s'étendent au-delà de la portée du modèle d'activité.

La mise en œuvre de la vision PLCS complète dans toute grande entreprise nécessite un investissement soutenu sur plusieurs années. Le rendement maximal peut être atteint lorsque :

- Le produit est complexe, avec de multiples options de conception.
- Les besoins sont complexes.
- La conception du produit ou scénarios d'utilisation est soumise à de fréquents changements.

Type d'aide	Description
Coût de possession réduit	Les utilisateurs de produits cherchent une meilleure disponibilité, fiabilité, maintenabilité et un coût de possession réduit.
Croissance des affaires durable	Les entreprises cherchent à faire de l'argent grâce à l'optimisation du cycle de vie de leurs produits pour améliorer les profits, améliorer la qualité et réagir rapidement à l'évolution constante des exigences des clients.
Protection de l'investissement dans les données du produit et de soutien	Les utilisateurs de systèmes d'information veulent des plates-formes plus ouvertes et réduire les coûts informatiques et assurer la longévité de l'utilisation des informations.

2.5. Le format IFC

Un format de fichier orienté objet

Le format IFC (Industry Foundation Classes) est un format de fichier orienté objet utilisé par l'industrie du bâtiment pour échanger et partager des informations entre logiciels. L'IFC est un des formats utilisables pour échanger entre différentes plateformes BIM. L'IFC, dans sa version communément utilisée actuellement (v2.3) ne permet pas un échange complet des informations du BIM.

Dans l'acceptation du BIM, à l'instar d'autres formats, le format IFC permet un minimum de communication entre les acteurs de la construction. Ces objets supportent le cycle de vie complet d'un bâtiment incluant :

- Les débuts : la conception, la documentation et la construction.
- L'exploitation des bâtiments.
- La gestion des installations (facility management).
- La démolition et l'élimination.

2.6. Le format STEP

Présentation du format STEP

Afin d'accélérer l'accès, le traitement et la diffusion des informations techniques des produits, toute entreprise industrielle devrait maîtriser l'organisation et la classification de ces informations. La gestion des données techniques est une technologie incontournable pour répondre à ces besoins, mais les systèmes de gestion des données techniques (SGDT) étant avant tout des outils informatiques. Ils doivent donc répondre à des critères rigoureux d'architecture et de standardisation pour assurer leurs fonctions fédératrices.

Une norme internationale

Une grande partie de la technologie STEP (STandard for the Exchange of Product data) est acceptée comme norme internationale. Elle apparaît aujourd'hui comme l'une des solutions les plus envisageables en matière de standardisation et constitue un défi en matière de communication.

Les développements effectués dans le domaine de la gestion de données techniques

Les développements effectués dans le domaine de la gestion de données techniques ont comme objectif essentiel de pouvoir gérer l'ensemble des données relatives aux produits. Cette gestion s'opère :

- Indépendamment de leur origine, de leur contenu ou de leur signification.
- À travers toutes les étapes de son cycle de vie (cahier des charges, conception, fabrication, contrôle qualité, vente, maintenance...).

Ces développements intègrent, entre autres :

- La représentation des produits de l'entreprise (nomenclatures, documentation, utilisateurs...).
- La gestion des flux d'informations ou workflows (fichiers, bases de données techniques...).
- La garantie d'une certaine traçabilité qui permet une meilleure maîtrise des décisions (suivi des configurations, réaction aux modifications...).

2.6 Le format STEP | Présentation du format STEP

Des efforts pour proposer des solutions

Beaucoup d'efforts ont été déployés pour proposer des solutions qui permettent de :

- Travailler dans le cadre d'une entreprise étendue.
- Réduire les coûts du cycle de vie.
- Améliorer les changements de version et le contrôle des configurations.
- Améliorer la gestion des informations dans des contextes de changement rapides de processus.
- Intégrer les nouvelles technologies d'information et de communication.
- Sécuriser les données partagées dans le cadre de projets distribués.

Cependant, des problèmes de communication apparaissent souvent à deux niveaux de l'entreprise. En interne, lors des étapes du cycle de vie des produits ou de façon externe, lors d'échange de données avec des partenaires.

Les problèmes de communication en interne

En interne, les données manipulées sont souvent complexes et ne sont accessibles qu'au prix de multiples manipulations. Si toutes ces données sont censées décrire un même produit, aucune ne le fait avec le même langage ni en cohérence avec les autres données. La moindre modification d'une nomenclature ou d'une gamme demande aux différents services concernés (BE, méthodes, lancement, qualité...) d'importants efforts de mise à jour. Ces efforts coûtent en réactivité et nécessitent parfois des saisies multiples qui augmentent d'autant les risques d'erreur.

Les problèmes de communication en externe

En externe, la nécessité de coopération avec des partenaires, de plus en plus forte dans tous les secteurs industriels, nécessite un échange intensif des données relatives aux produits.

Cependant, en raison de la multiplicité des logiciels utilisés, et donc de l'hétérogénéité des formats utilisés, cette communication pose de nombreux problèmes. Ceci, notamment en ce qui concerne l'interprétation des données. Tous ces facteurs rendent nécessaire la normalisation des modèles de données échangés.

Vers une norme ISO
L'élaboration d'une nouvelle norme

Avant l'arrivée de STEP, des formats spécifiques émanant essentiellement des industries automobiles et aéronautiques ont été développés. Plusieurs standards nationaux (SET, IGES, VDA...) et standards « de fait » (DXF...) ont vu le jour. Cependant, compte tenu de leur multiplication et leur « ressemblance » (destinés principalement aux échanges de la géométrie des produits), le besoin d'un format neutre pour l'échange de données de produits s'est fait ressentir.

Des réflexions ont donc été engagées et ont débouché sur la mise en place d'une structure au niveau de l'ISO pour élaborer une nouvelle norme. Le développement de STEP a été initié au milieu des années 80. L'objectif était de développer une seule norme internationale pour couvrir tous les aspects de l'échange de données CAO/CFAO, capable de remplacer, entre autres, les normes nationales et « de fait » existantes.

ISO 10303, la désignation officielle de STEP

STEP est un nom officieux, sa désignation officielle est ISO 10303 "Représentation et échange de données de produit". Ses développements sont coordonnés par le Sous-Comité SC 4 ("Données Industrielles et langages globaux de programmation en production") du Comité Technique TC 184 de l'ISO ("Systèmes d'Automatisation Industrielle & d'Intégration").

2.6 Le format STEP

STEP est indépendant des systèmes informatiques

Une architecture sur plusieurs niveaux

Un découpage en Classes ou « Parties »

STEP est conçu pour fournir un mécanisme pour la description et le partage des données à travers le cycle de vie d'un produit, indépendamment des systèmes informatiques.

L'architecture de STEP est basée sur plusieurs niveaux, on retrouve essentiellement :

- Des méthodes de description.
- Des méthodes d'implantation et de conformité.
- Des ressources intégrées.
- Des protocoles d'application.
- Des suites de tests de conformité des protocoles.

Elle est découpée en plusieurs Classes ou « Parties » (1x désigne la classe des parties de 10 à 19) :

Partie	Description
Parties 1x	Méthodes de description, décrivant les définitions fondamentales utilisées, le langage de modélisation des données, etc.
Parties 2x	Méthodes d'implantation, décrivant la correspondance entre les spécifications formelles et la représentation utilisée pour implanter STEP.
Parties 3x	Méthodologie et cadre général pour les essais et tests de conformité des logiciels par rapport à STEP.
Parties 4x	Ressources Intégrées génériques.
Parties 1xx	Ressources Intégrées d'application.
Parties 2xx	Protocoles d'application, décrivant les données de haut niveau des produits et la façon dont elles sont utilisées.
Parties 3xx	Tests de conformité associés aux protocoles d'application, contenant des données et des critères utilisés pour vérifier la conformité.
Parties 5xx	Ressources interprétées d'application.
Parties 1xxx	Modules d'application, définissant des groupes d'informations fonctionnelles utilisables dans de multiples protocoles d'application.

Un grand nombre de ces parties ont été normalisées ou en cours de l'être.

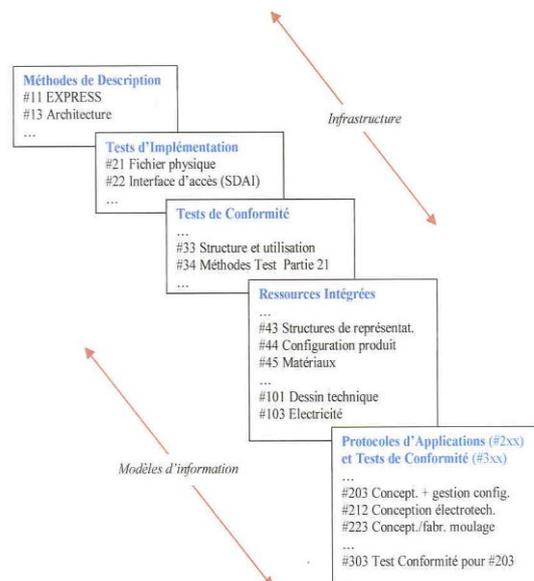


Figure 8: Familles de " Parties " de STEP

2.6 Le format STEP

**Groupes de Travail
ISO STEP**

L'élaboration d'une nouvelle partie de STEP requiert différentes phases qui permettent le suivi de l'avancement de ses travaux. De chaque phase résulte un document décrivant l'état des travaux, et le passage d'une phase à une autre est soumis à un vote. La partie en question n'est disponible commercialement au sein de l'ISO qu'après son passage par les différentes phases.

Tous les standards sont révisés au moins une fois tous les cinq ans par le TC184.

**Manipuler des vues
multiples du produit**

STEP est conçu pour être un format neutre multiapplications et multiutilisations. Il devrait être utilisé par diverses applications pour une intégration complète des informations concernant le produit. Il a comme objectif de traiter aussi bien les données que les processus, dans des environnements d'ingénierie simultanée.

**L'intégration des points
de vue fonctionnels et
physiques**

De par sa définition même et grâce au modèle de données générique unique du produit, partageable par tous les protocoles d'application, STEP intègre :

- Les points de vue fonctionnels (aspects comportementaux du produit).
- Les points de vue physiques (forme, matériau, structures d'assemblage...).

Ceci permet à STEP de supporter aussi bien :

- L'interopérabilité des applications, basée sur des solutions communes à des besoins multiples.
- L'intégration des données comme un modèle « global » de produit valable pour de multiples utilisations.

**Mesurer le gain apporté
par STEP**

Il est important de mesurer le gain que peut apporter STEP à l'infrastructure de la technologie d'information pour gérer les données de produit tout au long du cycle de vie. Le concept fondamental de STEP qui lui permet de jouer ce rôle est la possibilité de manipuler des vues multiples du produit. De telles vues peuvent se distinguer par le type de produit, les phases de cycle de vie, et la discipline (un concepteur est souvent intéressée par un sous-ensemble spécifique des données concernant le produit).

Le rôle de STEP

Le rôle de STEP est d'identifier et de normaliser les données clés pertinentes pour les processus des vues en question, ainsi que les flux de données qui se produisent au sein et entre ces processus. De tels flux de données peuvent concerner :

- Des systèmes "de même nature", par exemple, entre deux systèmes de CAO différents.
- Des systèmes "différents" par exemple, entre des systèmes de CAO et des systèmes d'analyse.
- Des phases du cycle de vie du produit, par exemple, entre la conception et les fonctions de fabrication, ou entre le client et le fournisseur.

Ces aspects considérés par l'architecture STEP sont reflétés par la définition des protocoles d'application appropriés.

2.6 Le format STEP

Une architecture en évolution

Le groupe de travail WG10 (ISO TC184/SC4) « Architecture Technique » travaille sur l'extension des architectures et des méthodologies existantes. Cette architecture est conçue pour :

- Supporter la flexibilité et la modularité dans la conception, le développement et le déploiement de nouveaux standards industriels.
- Exploiter les nouveaux développements autour du noyau de la famille de standards STEP, tel que la deuxième édition du langage EXPRESS associé à STEP.

Des propositions complémentaires

Des propositions complémentaires à cette architecture et ses composants ont été discutés au sein des comités de normalisation de l'ISO. Un travail constant est entrepris pour réunir les propositions et les valider en fonction des besoins industriels. Nous pouvons noter les travaux récents sur l'interopérabilité des Protocoles d'Applications qui a suscité beaucoup d'attention. En effet, les compagnies se rendent compte que leurs conditions sont peu susceptibles d'être satisfaites par des protocoles d'application simples.

Les « Suites » de protocoles d'application

Ceci mène à l'idée des « Suites » de protocoles d'application en corrélation avec les besoins des différentes disciplines, applications, et phases de cycle de vie. D'autres travaux sont menés actuellement sur la gestion et la structuration de l'information (standards SGML, XML...) pour mieux intégrer la documentation avec les données industrielles tout au long du cycle de vie du produit. On peut citer également les travaux sur la modularisation de STEP qui éviteraient les redondances entre parties qui existent actuellement, ou encore les travaux sur la communication des historiques de conception des produits.

2.7. IEEE

IEEE830

IEEE830 présente ce qu'il faut pour ne rien oublier dans un document décrivant les exigences d'un logiciel, d'un programme ou d'un progiciel en particulier, qui exécute certaines fonctions dans un environnement précis. Ce standard présente :

- Ce que devrait contenir une spécification d'exigences de logiciel.
- Ce que sont des exigences bien rédigées et plusieurs plans de documents type.

Objectif

Son objectif est d'aborder les questions fondamentales suivantes :

1. Les fonctions : que doit faire le logiciel ?
2. Les interfaces externes : quel type de liens doit-il y avoir entre le logiciel et les utilisateurs, le matériel du système, les autres matériels et les autres logiciels.
3. Performance : quelle doivent être la vitesse, le degré de disponibilité, le délai de réponse et le délai de récupération des diverses fonctions logicielles, etc.
4. Attributs : de quoi faut-il tenir compte sur le plan de la transférabilité, de la facilité d'exécution de la maintenance, de sécurité, etc.
5. Contraintes imposées sur l'implantation : y a-t-il des contraintes dont il faut tenir compte (normes, langages d'implantation, politiques visant l'intégrité des bases de données, ressources limitées, cadre d'exploitation, etc.).

2.7 IEEE

IEEE1233	IEEE1233 présente les exigences avec une vision cycle de vie. Elles sont modifiées dans le temps, doivent prendre en compte les conditions d'intégration, des concepts opérationnels, des contraintes de conception et de configuration technique. Ce guide fait le distinguo entre les exigences de système « ce que le système doit faire », et « comment construire le système », tel qu'un cahier des charges ou plan projet.
Garantir que la SES est bien comprise	« L'un des objectifs principaux de l'analyse des exigences de système étant de garantir que la SES est bien comprise, cette dernière doit être présentée au client dans un langage qu'il est susceptible de comprendre, et qui est complet, concis et clair. Elle doit être également transmise à la communauté technique (MOE, concepteurs, développeurs, testeurs...) ».
Les exigences brutes	Au départ, le client a une idée de ce qu'il souhaite. Ce sont les exigences brutes. Cela s'apparente à l'expression des besoins ou se mêlent des éléments précis, des idées de conception.
Création du système de gestion des exigences brutes	<p>Puis en fonction des interfaces externes du système (transmissions de données, interfaces entre logiciels, IHM...), de l'environnement, de facteurs organisationnels, commerciaux, le système de gestion des exigences est créé.</p> <p>Il comporte des exigences bien formées : une exigence bien formée énonce la fonctionnalité (capacité) d'un système. Elle doit pouvoir être validée et être remplie ou possédée par ce système pour résoudre le problème du client ou pour réaliser l'un de ses objectifs. Cette exigence doit être caractérisée par des conditions mesurables et limitée par des contraintes.</p>

3. LA GESTION D'EXIGENCES

Une exigence est l'expression d'un besoin

Une exigence est l'expression unitaire d'un besoin, d'un élément de solution ou d'une condition de validation/vérification d'un besoin ou d'une solution.

Les exigences se déclinent selon un nombre de niveaux dépendant des méthodologies employées (la traçabilité assurant la cohérence des différents niveaux d'exigences). Elles peuvent également se décliner « horizontalement » lorsque les exigences « verticales » sont regroupées en lots (process, produit ...) afin d'assurer leur cohérence.

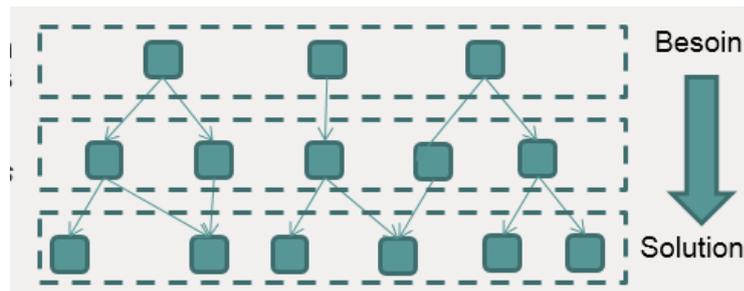


Figure 9: Déclinaison d'exigences du besoin à la solution

3.1. Formalisation

Les éléments d'une exigence

Une exigence est composée de plusieurs éléments :

- Un identifiant : il identifie de façon univoque l'exigence : il est composé d'un identifiant propre et d'un numéro de version traçant ses modifications successives.
- Un contenu : c'est l'expression de l'exigence.
- Un lien de traçabilité : il permet d'assurer la traçabilité avec la ou les exigences de niveau supérieur. On notera donc le ou les identifiants de ces exigences.
- Un rational : il permet de justifier le contenu de l'exigence lorsque cette justification est nécessaire.
- Une source : elle permet d'identifier la source de l'exigence ou la source de la modification de l'exigence (CR de réunion, document ...).

L'identifiant de l'exigence

L'identifiant de l'exigence est particulièrement important puisqu'il comporte à lui seul un grand nombre d'informations. Il doit être et rester unique tout au long du cycle de vie du produit. Un identifiant est composé de plusieurs éléments. Ex: SPE-PER-020-V2.

Élément	Description
Type	Il identifie le type d'exigence (besoin, spécification, test, solution détaillée, exigence de performance, etc.) ou le type de document contenant l'exigence (dans l'exemple, SPE signifie dossier de spécification).
Module	Il identifie une partie documentaire, un module ou un sous-système au titre duquel est créée l'exigence (dans l'exemple, PER signifie exigence de performance).
Numéro	C'est un numéro incrémental propre au module ou au type d'exigence. Lors de la rédaction initiale des exigences, il est fortement recommandé de les numéroter de 10 en 10 afin de faciliter l'insertion ultérieure de nouvelles exigences.
Version	C'est un numéro de version permettant de tracer les différentes modifications (dans l'exemple, V2 signifie que l'exigence initiale a été modifiée une fois). Il est recommandé d'utiliser un nombre limité de caractères pour désigner les modules et les types. De même, il est recommandé d'avoir au plus deux niveaux de module afin de simplifier l'identification des exigences.

3.1 Formalisation

Les éléments d'une bonne exigence

Une bonne exigence doit être :

- **Abstraite** : elle doit être indépendante de la méthode de mise en œuvre.
- **Non ambiguë** : elle doit être énoncée de manière à n'être interprétable que d'une seule manière.
- **Traçable** : il doit être possible d'établir une relation entre la déclaration précise des besoins du client documenté et les énoncés spécifiques de la définition du système inclus dans la SES. Cette relation indique ainsi la source de l'exigence.
- **Testable/Validable** : elle doit offrir un moyen de prouver que le système satisfait à son énoncé.

La notion de type

Pour permettre leur analyse, les exigences doivent être catégorisées selon leurs identifications, priorité, criticité, faisabilité, risque, source et type. La notion de type dans la norme est exhaustive. Le type peut être basé par exemple sur des qualités attendues (fiabilité, maintenabilité, sécurité, performance, ergonomie...), ou autres.

Création et présentation d'un système de gestion d'exigences

Une fois les exigences bien formées écrites, un système de gestion d'exigences est créé et peut être présenté différemment suivant que le destinataire est le client ou la communauté technique. Pour cela, il est possible de s'appuyer sur des logiciels du marché ou des open sources, dont GENSPEC.

Les exigences des normes IEEE1233 et IEEE830

La norme IEEE1233 est d'un rang de niveau supérieur (orientée client) à la norme IEEE830 orientée conception. Néanmoins ces deux ont des exigences similaires :

IEEE 830 Caractéristique d'une spécification	IEEE 1233 Propriétés
Exacte	Ensemble unique
Non ambiguë	Normalisé
Complète	Ensemble lié
Cohérente	Complet
Hiérarchisée en fonction de l'importance et/ou de la stabilité	Homogène
Vérifiable	Limité
Modifiable	Modifiable
Traçable	Configurable
	Granulaire

Tableau 2: Comparaison des normes IEEE 830 et IEEE 1233

3.2. Structure

Plusieurs éléments composent une exigence	<p>Une exigence est composée de plusieurs éléments :</p> <p style="text-align: center;">SUJET ACTION OBJET CONDITION</p>
<p style="text-align: center;">Exigence sans condition</p>	<p>Cas d'une exigence sans condition :</p> <p style="text-align: center;">Un rapport « Compliance Sheet » doit être généré en moins de 2 heures.</p> <p>Toujours s'assurer de l'existence ou de l'absence d'une condition ; dans l'exemple ci-dessus, la condition pourrait porter sur la taille du rapport.</p>
<p style="text-align: center;">Exigence avec condition</p>	<p>Cas d'une exigence avec condition :</p> <p style="text-align: center;">L'administrateur peut modifier le nom d'un répertoire s'il est vide.</p> <p>Il est important de s'assurer de l'exhaustivité des conditions. De même il est important d'éviter d'utiliser la forme passive tel que :</p> <p><i>Le nom d'un répertoire peut être modifié par l'administrateur, s'il est vide.</i></p> <p>Cela permet d'éviter d'oublier certains termes d'une exigence tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le nom d'un répertoire peut être modifié s'il est vide (oubli du sujet). Ou • le nom d'un répertoire peut être modifié par l'administrateur (oubli condition).

3.3. Caractéristiques

Les caractéristiques d'une exigence

Une exigence doit être :

Critère	Description
Précise	Une exigence doit être formulée de façon simple et précise (non ambiguë) afin d'éviter toute interprétation ultérieure.
Unitaire	Une exigence doit être formulée de façon unitaire afin d'en assurer un suivi rigoureux (au niveau solution, vérification, traçabilité).
Réaliste	Une exigence doit être formulée de façon réaliste afin d'en assurer la faisabilité (au niveau technique, coût, planning).
Complète	Une exigence doit être formulée complètement en particulier au niveau des conditions afin d'être compréhensible et vérifiable.
Cohérente	Une exigence doit être cohérente avec la terminologie employée. Chaque terme de vocabulaire doit être unique. En cas de besoin, créer un lexique des termes utilisés. Si vous utilisez des abréviations, joignez impérativement le lexique au document de rédaction des exigences. Il est préférable d'utiliser une convention graphique et de nommage pour désigner les instances d'objet.

Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ Les reports doivent être générés rapidement				
Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ Tous les reports doivent être générés en moins de 10 mn pour les fichiers de moins de 10 Mo				
REQ Tous les reports doivent être générés en moins de 30 mn pour les fichiers de plus de 10 Mo				
REQ Tous les reports doivent être générés sans limite de temps pour les fichiers de plus de 100 Mo				

Figure 10: Caractéristiques d'une exigence : exemple 1

« Tous » précise que les performances sont applicables à tous les reports. Attention toutefois à veiller que ce soit réaliste.

« 10min », « 30 min » et « sans limite de temps » précisent le terme « rapidement » en quantifiant l'exigence initiale.

Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ Tous les reports doivent comporter une entête avec le nom de la société sauf les reports de reporting interne qui doivent comporter une entête avec la mention « <u>internal only</u> ».				
Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ Les reports de reporting externe doivent comporter une entête avec le nom de la société				
REQ Les reports de reporting interne doivent comporter une entête avec la mention « <u>internal only</u> ».				

Figure 11: Caractéristiques d'une exigence : exemple 2

Dans l'exemple ci-dessus, la ventilation en deux exigences permet de bien dissocier les types de report et leur formatage associé.

3.3 Caractéristiques | Les caractéristiques d'une exigence

Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ Tous les reports doivent être générés en moins de 10 mn pour les fichiers de moins de 10 Mo REQ Tous les reports doivent être générés en moins de 30 mn pour les fichiers de plus de 10 Mo				
Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ Tous les reports doivent être générés en moins de 10 mn pour les fichiers de moins de 10 Mo REQ Tous les reports doivent être générés en moins de 30 mn pour les fichiers de plus de 10 Mo REQ Tous les reports doivent être générés sans limite de temps pour les fichiers de plus de 100 Mo				

Figure 12: Caractéristiques d'une exigence : exemple 3

L'ajout de cette troisième exigence permet de prendre en compte le cas hors limite.

Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ L'administrateur peut renommer l'objet <i>Projet</i> si des sous-projets ne sont pas liés à l'objet et l'attribut <i>Projet.Status</i> = Draft REQ L'administrateur peut renommer l'objet <i>Projet</i> si l'attribut <i>Projet.Etat</i> = Initial				
Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
L'administrateur peut renommer l'objet <i>Projet</i> si des sous-projets ne sont pas liés à l'objet et l'attribut <i>Projet.Status</i> = Draft et l'attribut <i>Projet.Etat</i> = Initial				

Figure 13: Caractéristiques d'une exigence : exemple 4

L'intégration de la deuxième exigence dans la première permet la prise en compte de l'exhaustivité des conditions au renommage de l'objet *Projet* par l'administrateur.

Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ Le report <i>Compliance sheet</i> doit respecter le <i>template</i> décrit en annexe REP_CS. REQ Le report <i>Comp. sheet</i> doit être généré en moins de 10 mn pour une taille de maximum de 10 Mo. REQ Le report <i>Competition sheet</i> doit être généré en moins de 15 mn pour une taille maximum de 12 Mo.				
Précise	Unitaire	Réaliste	Complète	Cohérente
REQ Le report <i>Compliance sheet</i> doit respecter le <i>template</i> décrit en annexe REP_CS. REQ Le report <i>Compliance sheet</i> doit être généré en moins de 10 mn pour une taille de maximum de 10 Mo. REQ Le report <i>Competition sheet</i> doit être généré en moins de 15 mn pour une taille maximum de 12 Mo				

Figure 14: Caractéristiques d'une exigence : exemple 5

Le report « compliance sheet » est nommé de façon identique dans toutes les exigences le concernant, le deuxième requirement devient non ambigu. Une convention de nommage (en gras/italique) permet de bien identifier le nom des reports.

3.4. Couverture

La couverture des exigences

La couverture des exigences doit être :

Critère	Description
Exhaustive	La couverture des exigences doit être cohérente et exhaustive sur chaque périmètre et sous-périmètre pour éviter des « trous » de spécification. Les périmètres tels que les performances, l'ergonomie et les fonctions d'administration/configuration sont souvent incomplets.
Contractuelle	La couverture des exigences doit s'appuyer sur un cadre contractuel pour éviter toute dérive coût/délai/qualité et, le cas échéant, justifier des amendements. Le cadre contractuel est souvent défini via une matrice de couverture des exigences apportant des limites ou un cadre de solution.
Top-down	La couverture des exigences doit être assurée selon une approche top down avec une matrice de traçabilité.
Exprimée	Les exigences de bas niveau doivent couvrir des exigences clairement exprimées pour éviter la sur qualité ou des incompréhensions ultérieures. Lorsque l'on crée une exigence sans contrepartie de plus haut niveau, il faut toujours : <ul style="list-style-type: none"> S'interroger sur le bien-fondé de cette exigence. Et, le cas échéant, créer ou modifier une exigence de plus haut niveau (avec impact contractuel, le cas échéant).
Applicable	Les exigences doivent être clairement applicables dans leur formulation pour prévenir toute dérive coût/délai/qualité : de nombreuses dérives projet proviennent d'une mauvaise formulation des exigences ou d'une couverture incomplète de périmètre (exigences implicites ou manquantes), particulièrement lorsqu'il s'agit d'exigences contractuelles.

Exhaustive	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
<p>REP-FOR-010 Le report <u>Compliance sheet</u> doit respecter le <u>template</u> décrit an annexe REP_CS.</p> <p>REP-FOR-020 Le report <u>Project List</u> doit respecter le <u>template</u> décrit an annexe REP_PL.</p> <p>REP-FOR-030 Les reports de type interne doivent respecter le <u>template</u> décrit an annexe REP_RI.</p> <p>.....</p> <p>REP-PER-100 Le report <u>Compliance sheet</u> doit être généré en moins de 5 mn pour une taille standard maximum de 12 Mo.</p> <p>REP-PER-110 Le report <u>Project List</u> doit être généré en moins de 5 mn pour une taille standard maximum de 2 Mo.</p> <p>REP-PER-120 Tous les reports excédant le maximum de leur taille standard peuvent être générés sans limitation de durée.</p>				
Exhaustive	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
<p>REP-FOR-010 Le report <u>Compliance sheet</u> doit respecter le <u>template</u> décrit an annexe REP_CS.</p> <p>REP-FOR-020 Le report <u>Project List</u> doit respecter le <u>template</u> décrit an annexe REP_PL.</p> <p>REP-FOR-030 Les reports de type interne doivent respecter le <u>template</u> décrit an annexe REP_RI.</p> <p>.....</p> <p>REP-PER-100 Le report <u>Compliance sheet</u> doit être généré en moins de 5 mn pour une taille standard maximum de 12 Mo.</p> <p>REP-PER-110 Le report <u>Project List</u> doit être généré en moins de 5 mn pour une taille standard maximum de 2 Mo.</p> <p>REP-PER-115 Les reports de type interne doivent être généré en moins de 30 mn pour une taille standard maximum de 5 Mo.</p> <p>REP-PER-120 Tous les reports excédant le maximum de leur taille standard peuvent être générés sans limitation de durée.</p>				

Figure 15: Couverture d'une exigence : exemple I

3.4 Couverture | La couverture des exigences

L'exigence REP-PER-115 a été ajoutée pour quantifier les performances des reports internes qui n'étaient pas pris en compte dans le périmètre des performances (peut-être parce que les exigences du cahier des charges ne portaient que sur les reports les plus critiques).

Exhaustive	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
[Cahier des charges] CDC-010 Tous les reports doivent être générés en moins de 5 mn pour les fichiers d'une taille maximale de 10 Mo.				
[Matrice de couverture] CDC-010 : la taille maximale sera limitée à 2 Mo pour ce niveau de performance.				
[Spécification des performances] SLA_PER_010 : Les reports doivent être générés en moins de 5 mn pour les fichiers d'une taille maximale de 10 Mo				
Exhaustive	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
[Spécification des performances] SLA_PER_010 : Les reports doivent être générés en moins de 5 mn pour les fichiers d'une taille maximale de 2 Mo				

Figure 16: Couverture d'une exigence : exemple 2

L'exigence a été modifiée pour prendre en compte la restriction sur la taille après cadrage contractuel.

Exhaustive	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
[Couverture contractuelle] CDC-010 : L'objet PROJET est composé de: un identifiant, un nom, un état de cycle de vie, un type, une description.				
[Spécification] SPEC_OBJ_010 : Le formulaire OBJ_MAJ décrit l'ergonomie (attribut, positionnement, formats) de la mise à jour de l'objet PROJET.				
Exhaustive	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
[Spécification] SPEC_OBJ_010 : Le formulaire OBJ_MAJ décrit l'ergonomie (attribut, positionnement, formats) de la mise à jour de l'objet PROJET.				
[Spécification] SPEC_OBJ_020 : Le fichier de configuration CONFIG_OBJ décrit les valeurs de l'attribut <u>Projet.EtatCycleVie</u> : elles ne sont pas modifiables.				
[Spécification] SPEC_OBJ_030 : Le fichier de configuration CONFIG_OBJ décrit les valeurs de l'attribut <u>Projet.Type</u> : elles ne sont pas modifiables. .				

Figure 17: Couverture d'une exigence : exemple 3

Les exigences 020 et 030 déclinent en totalité l'exigence contractuelle. Elle permet de couvrir le besoin de mise à jour et lève toute ambiguïté sur la (non)modification des informations Cycle de vie et Type.

Périmètre	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
[Cahier des charges] CDC-010 : Le contenu des reports de type interne doivent être paramétrables via des <u>templates</u> mis à jour avec un éditeur qui sera fourni par le prestataire.				
[Spécification] SPEC_REP_010 : Tous les reports sont définis par un <u>template</u> modifiable.				
[Spécification] SPEC_REP_020 : L'administrateur peut modifier les <u>templates</u> de report quand le logiciel est off.				
[Spécification] SPEC_REP_030 : L'éditeur de texte standard Windows permet de modifier les <u>templates</u> de report.				
[Spécification] SPEC_REP_040 : Des <u>templates</u> par défaut (cf description en annexe) seront livrés pour tous les reports à l'installation du logiciel.				
Périmètre	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
[Spécification] SPEC_REP_010 : Tous les reports de type interne sont définis par un <u>template</u> modifiable.				
[Spécification] SPEC_REP_020 : L'administrateur peut modifier les <u>templates</u> de report quand le logiciel est off.				
[Spécification] SPEC_REP_030 : L'éditeur de texte standard Windows permet de modifier les <u>templates</u> de report.				
[Spécification] SPEC_REP_040 : Des <u>templates</u> par défaut (cf description en annexe) seront livrés pour tous les reports à l'installation du logiciel.				

Figure 18: Couverture d'une exigence : exemple 4

3.4 Couverture | La couverture des exigences

L'exigence 010 a été modifiée pour restreindre au type « interne », le paramétrage par des templates, le paramétrage des autres types de report n'étant pas demandé. On peut, toutefois, étendre cette exigence à tous les reports si un accord contractuel (amendement) intervient (révision du cahier des charges ou de la proposition).

Exhaustive	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
[Cahier des charges] CDC-010 Le logiciel sera développé, au forfait, avec une vingtaine de reports qui seront définis ultérieurement.				
Exhaustive	Contractuelle	Top-down	Exprimée	Applicable
[Couverture contractuelle] CDC_010: Une phase de définition des reports ,en T&M, devra aboutir à la remise d'une proposition de développement forfaitaire.				

Figure 19: Couverture d'une exigence : exemple 5

L'exigence du cahier des charges est inapplicable en l'état : une proposition est faite de définir les exigences en T&M avant tout engagement forfaitaire.

3.5. Gestion en configuration

Définition

La gestion de configuration est un concept qui remonte aux années 50 et 60. Ce concept est destiné à supporter d'ambitieux et complexes programmes d'ingénierie notamment dans les domaines militaire et aéronautique. On peut définir la gestion de configuration comme un ensemble d'activités coordonnées. Ces activités sont destinées à assurer et à tracer l'ensemble des documents de spécifications (géométriques, techniques, fonctionnelles) d'un produit et de ses processus. Ce suivi a lieu tout au long du cycle de vie et à travers notamment les phases :

- D'études.
- D'industrialisation.
- De déploiement.
- De maintenance.
- Etc.

La gestion de systèmes complexes

La gestion de configuration est utilisée pour la gestion de systèmes complexes :

- En informatique.
- En aéronautique.
- En automobile.
- En construction navale.
- En systèmes spatiaux.
- En armement.

Des systèmes structurés suivant une ou plusieurs architecture(s)

Ces systèmes sont structurés suivant une ou plusieurs architecture(s) (produit, fonctionnelle, organique...). La configuration d'un système peut être maîtrisée si l'on identifie dans une architecture quels sont les articles de configuration. Ces articles correspondent à des nœuds invariants dont les informations vont évoluer et doivent être suivies. On associe les documents et autres informations du système aux articles de configurations. Enfin, on gère tout au long du cycle de vie les évolutions des articles de configuration suivant leur maturité.

Un principe pour identifier le niveau du « juste nécessaire »

Il n'existe aucune règle permettant de définir le niveau invariant d'une architecture. Cependant, il existe un principe qui préconise d'identifier au cas par cas le niveau du « juste nécessaire ».

3.5 Gestion en configuration

Les enjeux de la gestion de configuration

La gestion de configuration adresse à un certain nombre d'enjeux industriels :

- La réduction du nombre de références de pièces de rechange nécessaires à la maintenance de l'outil industriel.
- La réduction de la durée de l'intervention sur les chaînes de production grâce à la connaissance enregistrée de l'état de cet outil.
- La conservation du savoir-faire de l'entreprise malgré le départ du détenteur de ce savoir-faire (le savoir-faire est enregistré et géré).
- Une moindre diffusion du savoir-faire de l'entreprise en dehors de celle-ci (le client ressent moins le besoin de connaître ce savoir-faire lorsqu'il est assuré de sa pérennité).

Une structuration des données cohérente

La réponse à ces enjeux passe par une structuration des données cohérente, qui est maintenue dans le temps.

Premièrement, il s'agit d'historiser les données saisies. Pour ce faire, on réalise le versionnement des données et métadonnées saisies à chaque modification. On gère également des indices de révisions ou de versions sur les articles de configuration. On associe à chaque révision d'article de configuration l'état des données qui lui sont associées.

Ensuite, on définit des effectivités pour chacun des articles de configuration. C'est-à-dire que l'on définit des règles permettant d'identifier l'applicabilité d'un article de configuration. Ainsi, on peut retrouver et analyser la cohérence d'un système pour une configuration donnée.

Plusieurs types de gestion de configuration

Dans l'industrie manufacturière, il existe plusieurs types de gestion de configuration :

- Automobile : gestion des options et variantes de véhicule. Il existe de grandes problématiques dans la gestion de système et sous-système qui peuvent avoir plusieurs variabilités de solutions pour un même produit.
- Aéronautique : gestion des rangs d'effectivités. Il s'agit de figer la configuration produit suivant un numéro unique. Cette méthode est adaptée au besoin de suivi unitaire de chaque avion mis en vol.

Les problématiques de la construction se rapprochent des problématiques aéronautiques par des contraintes contractuelles. Les jalons projets pouvant faire office de rang de configuration.

La gestion des exigences en configuration

Le suivi des exigences en configuration est un sujet encore mal maîtrisé pour les systèmes complexes. La mise en œuvre dans des outils informatiques évolue rapidement, mais doit encore s'améliorer.

Néanmoins, en reprenant le principe de juste nécessaire, il est recommandé de suivre les exigences en paquets. D'un point de vue métiers, des paquets d'exigences peuvent être des normes, des cahiers des charges, des spécifications...

4. DES OUTILS DE GESTION DES EXIGENCES

Industrialisation de la gestion des exigences

La gestion des exigences a été industrialisée dans des outils dit « ALM » (voir le chapitre 2.1). Elle correspond aujourd'hui à 2 méthodes : le cycle en V et l'ingénierie système.

Cycle en V

Définition et précision des exigences, puis traçabilité vers les tests de vérification et de validation :

- Cette méthode permet de maîtriser la cohérence entre l'expression d'un besoin et la solution mise en œuvre.
- D'autres méthodes existent, mais elles réexploitent souvent ce principe de traçabilité entre exigences et tests, qui garantissent une maîtrise de la solution mise en œuvre par rapport à un besoin.

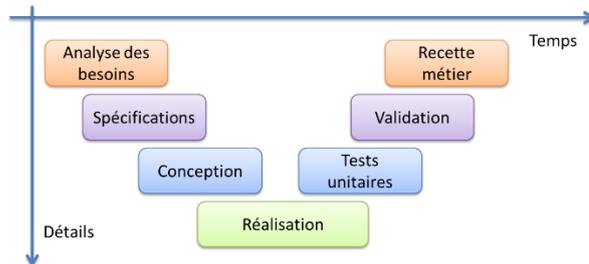


Figure 20: Cycle en V

Ingénierie système

Définition d'un système à partir de ces contraintes externes (Processus, environnement, maîtrise des risques...) et conception des architectures de celui-ci (organique et fonctionnelle).

- Dans un premier temps, cette méthode permet de détailler le besoin de manière très détaillée et garantit une maîtrise de sa définition.
- Dans un second temps, cette méthode permet de modéliser l'architecture fonctionnelle (fonctions et flux) et l'architecture organique (composants et interface).
- Dans sa globalité, la traçabilité entre ses différentes entités, ainsi qu'avec les exigences permet de maîtriser la complétude du système.
- Pour des besoins d'approfondissements, un composant peut ensuite être considéré comme un sous-système qui doit être étudié (Principe de poupées russes).
- Selon les sources, on retrouve parfois la gestion des tests comme elle est décrite dans le « Cycle en V ».
- Attention les outils informatiques disponibles sur le marché ne sont pas tous encore parfaitement intégrés !

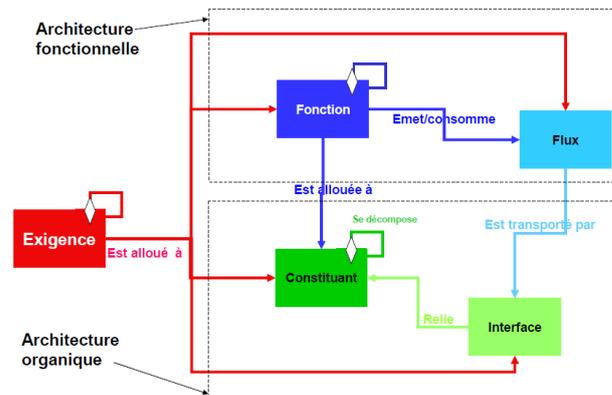


Figure 21: Modèle de données Ingénierie Système

3.5 Gestion en configuration | Ingénierie système

Plusieurs types de gestion de configuration

Les exigences servent à contraindre une solution (Allocation d'exigence), mais également à la préciser (Déclinaison d'exigence). Ainsi, l'étude d'un système commence par la définition des exigences propres au système. Elle se conclut par la définition d'exigences plus précises allouées à des éléments d'architectures fonctionnelles ou organiques. Ces dernières forment alors de nouvelles spécifications.

4.1. Enovia Requirement Central

Un module de la solution PLM Enovia V6

Enovia Requirement Central est un module de la solution PLM Enovia V6, mise au point par la société Dassault System. Les enjeux adressés par Dassault System sont de capturer l'expression des besoins des utilisateurs finaux, du marché, mais aussi les contraintes normatives et réglementaires pour tracer et contrôler les solutions développées.

Les objectifs de la solution

Les objectifs de la solution Enovia Requirement Central sont de :

- Améliorer l'efficacité et l'efficacité des processus de planification des produits en se basant sur une source commune d'exigence.
- Gérer intégralement le cycle de vie des exigences de leur expression jusqu'au lancement du produit.
- Maintenir la traçabilité afin de remonter aux exigences de haut niveau (Consommateur et Marketing).
- Améliorer la configuration des exigences pour réduire les coûts de développement et de glissement de projet en validant des baselines par l'ensemble des parties prenantes.
- Supporter une définition optimale de l'architecture de conception en permettant l'analyse de compromis qui concilie les fonctionnalités, les performances et le coût.

4.1 Enovia Requirement Central

Plusieurs domaines fonctionnels

L'outil Enovia Requirement Central propose plusieurs domaines fonctionnels :

- Product Planning : permet de planifier la sortie de produit sur le marché en gérant les lignes de produits, familles de produits...
- Product Objectives Setup : permet de définir des objectifs numériques pour chaque exigence qui contraindra les fonctions ou les composants logique et physique spécifiés.
- Requirements Capture : permet d'importer des exigences depuis une feuille MS Excel, ou d'ajouter des exigences en surlignant du texte dans un document MS Word.
- Requirements Analysis : permet de réserver une structure entière d'exigences pour prévenir la modification par d'autres utilisateurs, mais permet également de filtrer et comparer une exigence unitaire ou une structure pour identifier les évolutions ou écarts.
- Requirements Search : permet de rechercher des exigences dans l'ensemble de la base en recherchant sur plusieurs attributs à la fois.
- Organization Nodes for Very Large Scale Programs Support : permet de structurer les différentes spécifications dans une arborescence cohérente.
- Configuration Management : permet de définir des effectivités (de date, configuration feature et des révisions), et de filtrer suivant ces effectivités.
- Change Management : permet de mettre en œuvre une procédure d'évolution en liant les exigences impactées.
- Requirements traceability : permet de gérer la traçabilité des exigences dans sa décomposition, vers les produits spécifiés et vers les tests de vérification et validation.
- Requirements to Functional and Logical Traceability Reports : permet d'extraire des rapports de traçabilité entre les exigences et d'autres objets pouvant appartenir à d'autres modules ENOVIA.
- Document Report : permet d'extraire des spécifications sous forme des rapports MS Word, qui conserve intégralement la structure et le contenu des exigences, afin de les communiquer à des parties prenantes extérieures à la solution ENOVIA Requirement Central.

4.2. EuroStep : Share-A-Space

Présentation

La société EuroStep propose son produit Systems Engineering Collaboration Hub pour permettre la gestion d'exigences et plus globalement l'ingénierie système. Cet outil n'a pas vocation à être utilisé seul, mais dans une suite d'applications EuroStep, Share-A-Space, qui doit s'interconnecter avec des outils PDM/PLM, des ERP et d'autres outils d'ingénierie système ou de gestion d'exigences.

Les objectifs de la solution

Les objectifs de cette solution sont de :

- Permettre une gestion collaborative des données de produits complexes, dans le contexte d'entreprise étendue.
- Gérer les relations entre les différents objets.
- Fournir un environnement complet pour la gestion des évolutions et la propagation dans les relations.
- Permettre les échanges de données neutres entre différents systèmes.
- Proposer une solution à coût réduit et facile à prendre en main en s'incorporant aux technologies Microsoft.

L'outil Systems Engineering Collaboration Hub permet de tracer la vérification et la validation des exigences, ainsi que les informations d'ingénierie système en évitant de tomber dans les pièges.

Principales fonctions

L'outil Systems Engineering Collaboration Hub propose plusieurs fonctions :

- Gestion des vues :
 - Matrice de traçabilité : permet de suivre les liens entre les différentes exigences, quelles que soient leurs sources, domaines, ou autres systèmes.
 - Matrice d'assignation : permet à un intervenant de suivre si ses exigences ou leurs liens évoluent.
 - Matrice des sources : permet de référencer les sources des exigences dont ces dernières sont issues.
 - Matrice de vérification : Permet de traquer les exigences qui n'ont pas de lien vers une solution.
- Éditeur de texte riche, qui s'intègre dans MS Word.
- Connecteurs « MS Excel Import » et « Doors Extractor », pour extraire et importer des exigences de systèmes extérieurs.
- Génération de rapports MS Word et/ou MS Excel.

4.3. IBM Rational Doors

Une application pour optimiser la gestion des exigences

IBM Rational DOORS est une application permettant d'optimiser la gestion des exigences en matière de communication, de vérification et de collaboration à tous les niveaux de votre organisation et de votre chaîne logistique. Cette solution évolutive contribue à la gestion des coûts et du périmètre de votre projet tout en satisfaisant vos objectifs métiers. Rational DOORS permet de capturer, d'effectuer le suivi, d'analyser et de gérer les changements d'informations et de démontrer la conformité aux réglementations et normes.

- Gestion des exigences : offre un environnement complet de gestion des exigences.
- Traçabilité : relie les exigences aux éléments de conception, aux plans de test, aux scénarios de test et à d'autres types d'exigences.
- Évolutivité : s'adapte à vos besoins changeants en matière de gestion des exigences.
- Kit d'outils de suivi des tests : inclut le kit d'outils de suivi des tests pour les environnements de tests manuels afin de relier les exigences aux scénarios de test.
- Intégrations : gère les changements des exigences :
 - Soit avec un système simple de propositions de changements prédéfinis.
 - Soit avec un flux de travail de contrôle des changements plus complet et personnalisable s'intégrant aux solutions Rational de gestion des changements.

4.4. PTC Integrity

Des exigences logicielles allant au-delà de la simple capture

Inscrites dans une solution de développement intégrale, les fonctionnalités de gestion des exigences logicielles de PTC Integrity vont au-delà de la simple capture. En effet, elles offrent une solution dans laquelle la discipline constitue une partie interactive du cycle de vie du produit.

La réutilisation et la gestion des modifications d'exigences sont associées à des données en temps réel et à une traçabilité totale entre les exigences du système et celles du matériel et des logiciels en aval.

Vous bénéficiez ainsi de produits de qualité supérieure, de la maîtrise des coûts et d'un délai de mise sur le marché plus court.

Une fonction de traçabilité personnalisable

PTC Integrity propose une fonction de traçabilité personnalisable qui permet aux parties prenantes de rester informées :

- À partir d'une source unique de vérité, des changements touchant les exigences
- Et ce, tout au long du processus de développement.

La collaboration entre les rôles et les disciplines d'ingénierie est ainsi favorisée.

Les développeurs et les autres parties prenantes peuvent évaluer et gérer facilement l'impact des modifications avant leur mise en œuvre, même celles portant sur plusieurs gammes de produits, pour :

- Gagner en agilité.
- Améliorer la qualité des produits.
- Réduire les risques liés à la livraison des produits.

4.4 PTC Integrity

Fonctionnalités

PTC Integrity résout les défis client de la gestion des exigences avec une plateforme et diverses fonctionnalités, dont :

- Gestion des modifications des exigences.
- Gestion de la configuration des exigences.
- Traçabilité des exigences.
- Création d'exigences.
- Données et visibilité des exigences.
- Collaboration au sein de la chaîne logistique.
- Architecture et administration.

4.5. D'autres outils

D'autres outils pour gérer les exigences

D'autres outils existent pour gérer les exigences. Cependant, ces outils ne permettent pas tous encore de gérer les différentes vues des exigences par système ou sous-système. Ils peuvent devenir assez difficiles à consulter lorsque l'on veut gérer des ensembles complexes, car la volumétrie des données devient trop importante. De plus, ces outils sont le plus souvent développés pour gérer des problématiques ALM et embarquent donc des processus industriels propres au secteur IT.

Ces outils sont pour autant plus simples et moins « chers ». Ils peuvent permettre de mettre en place une solution collaborative de gestion des exigences en attendant le passage à une solution plus importante.

Envision

Les fonctionnalités du logiciel Envision sont les suivantes :

- Capture automatisée des exigences depuis Word - Excel...
- Référentiel centralisé et robuste => Microsoft SQL Server®.
- Paramétrage total des exigences : attributs - liens - vues (plus.. plus...)
- Traçabilité des changements et des liens avec tout type d'objet métier:
- « Sous-systèmes, Tests, Risques, Incidents, Documents externe, Lots, Tâches, Variantes etc. »
- Suivi des évolutions (historisation).
- Calcule l'état de complétude des structures d'exigences.
- Workflow de suivi d'exigences collaboratif avec gestion d'événements.
- Gestion des rôles et du travail collaboratif en temps réel (multi-utilisateurs).
- Génération de tableaux de bord interactifs pour toute partie prenante.
- Édition de rapports vers Word - Excel – HTML.

Polarion Requirements

Les fonctionnalités du logiciel Polarion Requirements sont les suivantes :

- Gestion des exigences et spécification vers les articles.
- Éditer des exigences depuis l'interface ou depuis MS Word/Excel.
- Créer des diagrammes (UML, BPMN, ...) dans l'interface ou éditer les dans le document MS Word.
- Traçabilité vers des informations externes modèles (Enterprise Architect), sources (GIT, SVN, ...).
- Création de liens entre les objets et contrôle via des matrices de traçabilité.
- Rapport d'analyse d'impact entre les objets & Rapports de conformité.
- Automatisation et propagation des demandes d'évolutions.
- Définition de règles métiers propres à chaque type d'objet (droits, workflows, ...).
- Suivi d'avancement et paramétrage du reporting.

5. CAS D'APPLICATION : GESTION DES EXIGENCES DANS LE CONTEXTE DU PROJET MINND

5.1. Introduction

Une démarche d'ingénierie système

Les chapitres précédents ont permis de présenter ce qui existait en matière de gestion d'exigences. Comme nous l'avons vu, les outils du marché s'inscrivent dans une démarche d'ingénierie système qui prend en compte :

- La gestion des exigences.
- L'analyse détaillée du besoin, avec la modélisation d'architectures fonctionnelle, opérationnelle, organique...

L'utilisation de ces méthodes pour accroître la maîtrise des produits

Les secteurs de la défense, de l'automobile, de l'aéronautique ou encore du nucléaire se sont saisis de ces méthodes pour accroître la maîtrise de leur produit. Cependant, les outils disponibles sur le marché ne sont pas encore complètement matures. Ceux-ci ne permettent pas de maîtriser la traçabilité entre les différents modèles, cahiers des charges, spécifications, produits. Il faut réconcilier manuellement les données depuis différents systèmes en utilisant des matrices Excel.

Des outils pour intégrer les fonctionnalités d'ingénierie système

Néanmoins, des outils dédiés au développement de logiciels ont été mis au point pour intégrer les fonctionnalités d'ingénierie système. Ainsi, il est possible de tracer la mise en œuvre d'exigences de haut niveau et de suivre les impacts liés aux modifications d'exigences. Les éditeurs font évoluer leur solution respective pour intégrer ces fonctionnalités au domaine produit plus « traditionnel ».

5.2. Les principes de gestion d'exigences à retenir

L'identification des responsabilités (traçabilité amont/aval)

Dans un projet de construction, plusieurs acteurs interviennent à différentes phases d'un projet. Les différents acteurs sont liés les uns aux autres par des contrats à une organisation opérationnelle. Un des principaux enjeux est de maîtriser la répartition des responsabilités et des engagements, pour chacun d'entre eux. Derrière le respect de ses engagements se cache un enjeu financier pour chaque partie. Bien sûr, d'autres enjeux peuvent être présents (Sécurité, fiabilité, écologie, performance, ergonomie...). Néanmoins, cette approche permet d'exploiter un concept d'ingénierie système : Architecture organique.

L'architecture organique

L'architecture organique en ingénierie système se forme de « Composant » et d'« Interface ». Ici les composants sont des acteurs qui définissent aux interfaces les besoins des 2 parties.

5.2 Les principes de gestion d'exigences à retenir

Une interface de type contrat

Dans un premier cas, nous avons une interface de type contrat qui définit simplement l'engagement contractuel. Dans ce cas précis, les échanges à l'interface se font lors de la négociation et le contrat est validé à la signature et ne peut évoluer que par un avenant. Les exigences sont validées de l'amont vers l'aval et le résultat final est un cahier des charges.

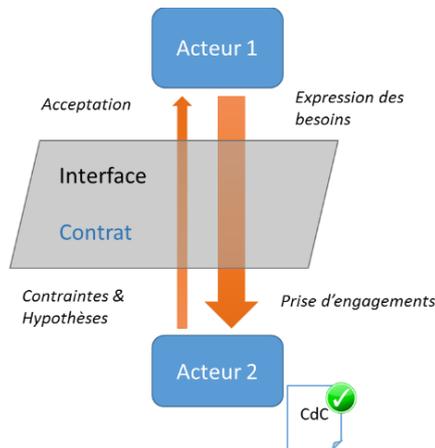


Figure 22: Modélisation relation contractuelle entre 2 Acteurs

Explications

Pour ce premier cas, l'Acteur 1 peut, par exemple, être le concessionnaire et l'Acteur 2 un concepteur ou un constructeur.

Exemple d'un cas appliqué aux chaussées

Ce premier travail permet d'identifier les exigences contractuelles et de construire une architecture opérationnelle. Dans un cas appliqué aux chaussées, voici quel peut être le résultat :

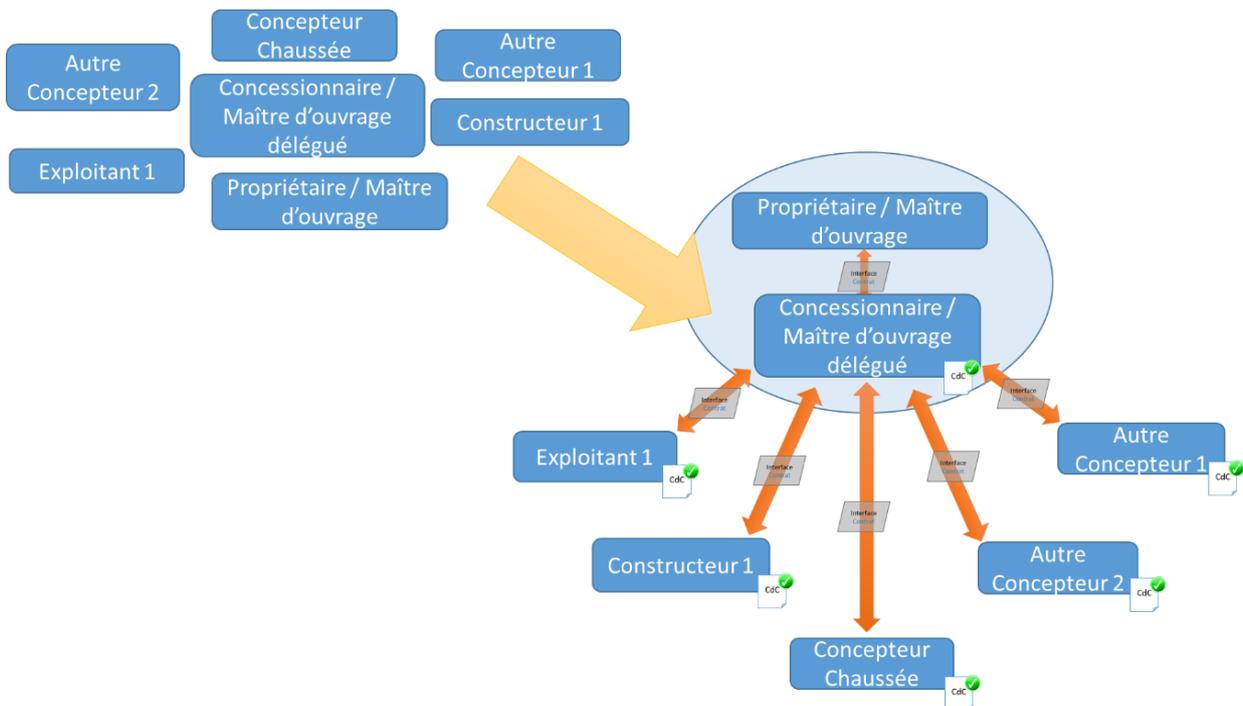


Figure 23: Modélisation d'un montage projet (contractuel)

5.2 Les principes de gestion d'exigences à retenir | Une interface de type contrat

Prise en compte des exigences

D'un point de vue outil gestion d'exigence, chaque intervenant prend en compte les exigences transmises par l'amont et les décline jusqu'à pouvoir les satisfaire ou les distribuer en aval.

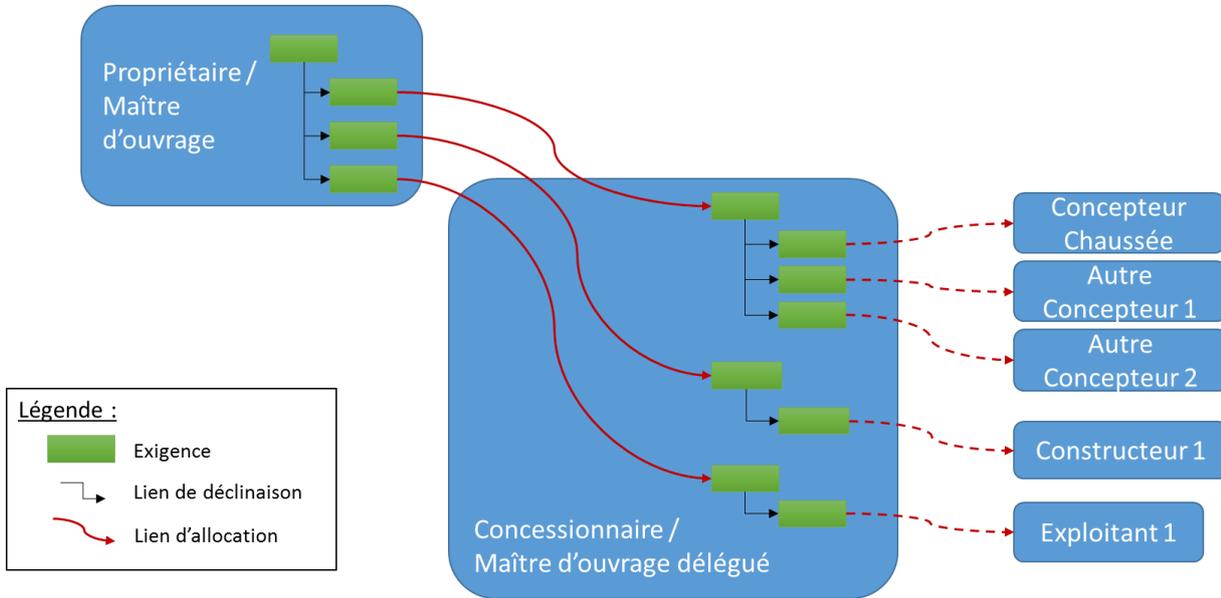


Figure 24: La déclinaison d'exigences (appliqué aux chaussées)

La relation verticale des acteurs

Cette première structure illustre la relation verticale des acteurs, mais ne permet pas de traiter des relations horizontales.

Cahier des charges émis par l'interface

Dans un second temps, chaque acteur exprime ses exigences pour les autres acteurs du projet. Ces exigences sont allouées à une interface qui fait la synthèse des conditions qu'il faut remplir pour permettre à chaque partie de respecter ses engagements. Dans une vue opérationnelle, cette nouvelle interface est de type « Spécification opérationnelle ».

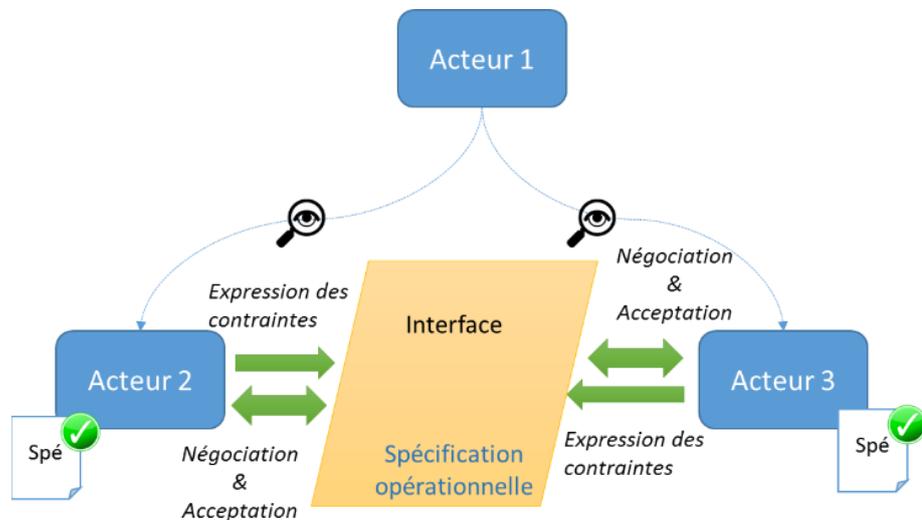


Figure 25: Modélisation des relations opérationnelles

5.2 Les principes de gestion d'exigences à retenir | Cahier des charges émis par l'interface

Explications

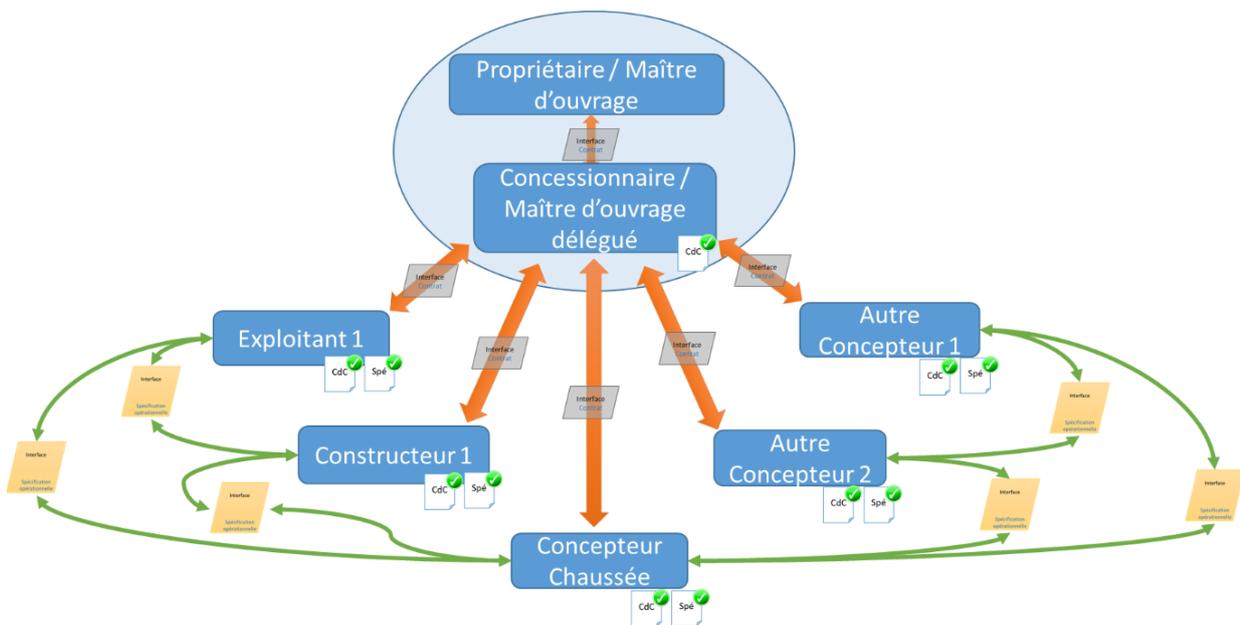
Dans ce second cas, l'Acteur 1 est souvent le concessionnaire, l'Acteur 2 peut être un concepteur, et l'Acteur 3 un constructeur par exemple. Ici l'Acteur 2 et l'Acteur 3 doivent exprimer les contraintes auxquelles l'autre doit répondre pour l'atteinte des objectifs. L'autre peut négocier ses contraintes pour lui permettre à la fois de respecter ces propres engagements, mais aussi d'atteindre l'objectif du projet. L'Acteur 1, qui détient le lien contractuel avec l'Acteur 2 et l'Acteur 3, doit superviser et coordonner les échanges à l'interface. Il est le garant de la cohérence globale, et c'est souvent lui qui validera les spécifications opérationnelles.

Une définition essentielle pour la réalisation de projet complexe

Cette définition d'interface et de spécification opérationnelle est essentielle pour la réalisation de projet complexe qui voit la participation de nombreux acteurs. Dans le cadre de l'UC2, nous avons borné notre étude à la chaussée. Cette limite ne permet pas de démontrer toute la richesse de cette interface, qui a une réelle valeur ajoutée lorsque plusieurs cœurs de métiers sont en interaction. Si on élargit ici au drainage ou alors aux ouvrages d'art, ces interfaces peuvent être une véritable richesse pour la MOA qui coordonne le projet.

Des échanges assez complexes

Pour notre cas, on peut imaginer des échanges assez complexes entre les différents acteurs du projet.

**Figure 26: Modélisation des relations opérationnelles**

5.2 Les principes de gestion d'exigences à retenir | Cahier des charges émis par l'interface

Prise en compte des exigences

D'un point de vue outil gestion d'exigence, le Concepteur Chaussée et l'Autre Concepteur 1 déclinent les exigences définies et allouées par le Concessionnaire. Chacun identifie les exigences à allouer à l'autre. Le Concessionnaire suit les échanges et arbitre les décisions. Le Concepteur Chaussée et le Constructeur 1 échangent et valident les exigences à l'interface. Chacun réimporte dans son espace les exigences qui lui reviennent et déclinent à nouveau pour satisfaire la contrainte.

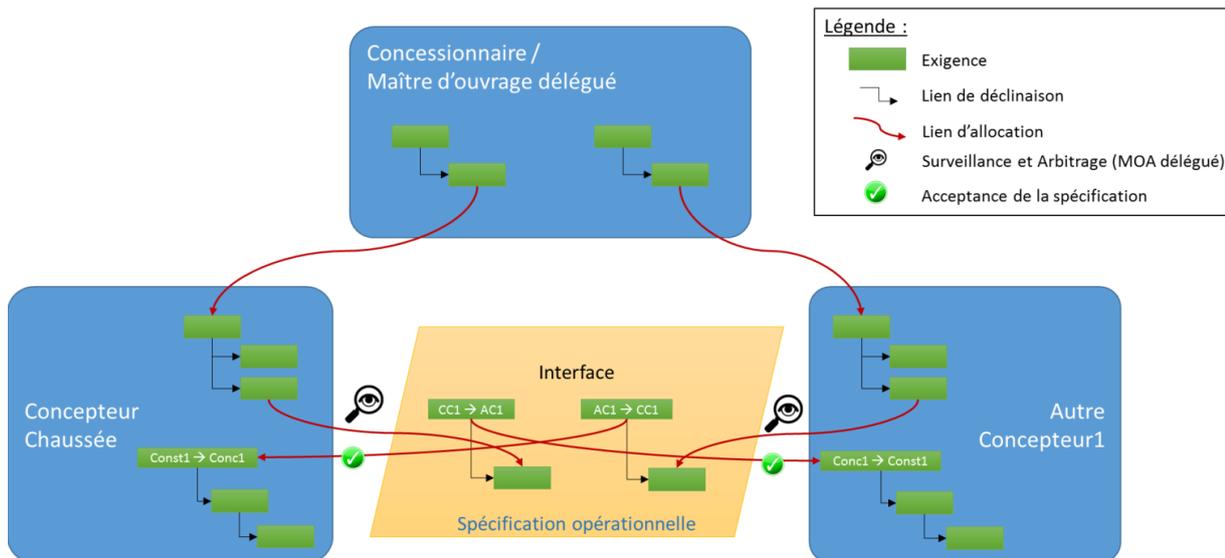


Figure 27: Gestion des interfaces

Une seconde structure qui complète la première

Cette seconde structure permet de compléter la première structure et permet de maîtriser parfaitement les expressions de besoin. Néanmoins, si la rédaction des exigences peut être maîtrisée dans un ensemble complexe, il est tout de même essentiel de suivre la validation des exigences, condition nécessaire à la validation du contrat et réception du paiement...

Vérification et validation des exigences

Lors de la signature d'un contrat, on définit les engagements et les responsabilités pour un budget. Le donneur d'ordres attend un résultat de la part de l'exécutant. La question est souvent de démontrer que les engagements pris sont bien tenus à la réalisation. Pour ce faire, la solution idéale est de contrôler factuellement le respect des exigences.

La remontée du V

Cette étape correspond à la remontée du V, vu plus haut. La méthode consiste à rédiger un test unitaire en parallèle de la rédaction des exigences. Ces tests unitaires forment un plan de test qui peut être déroulé lors de campagne de test.

La vérification des tests

Plusieurs possibilités existent quant à la vérification des tests. Soit une exigence peut être testée par un moyen particulier (par exemple : une mesure dans le cadre d'une procédure). Soit l'exigence est vérifiée dans le cadre d'une norme, d'abaque ou règles métiers et ne fait pas l'objet de campagne de tests.

1. Le rédacteur des exigences rédige les tests unitaires pendant la rédaction des exigences.
2. Les campagnes de tests sont planifiées avec le contractant, ou ses équipes.
3. Enfin, les résultats de tests sont enregistrés à chaque campagne afin de tracer la réponse aux exigences.

5.2 Les principes de gestion d'exigences à retenir | Vérification et validation des exigences

**Définition et suivi
des tests**

D'un point de vue outil gestion d'exigence, les tests sont définis et suivis au niveau des exigences. Néanmoins, un autre acteur (par exemple : le Concepteur Chaussée) peut renseigner le résultat de sa campagne de tests. Il n'y a pas de limitation d'outil en matière de répartition des prérogatives dans ce domaine. Il s'agit de définir des règles qui peuvent varier selon les projets et les acteurs. On obtient alors ce type de représentation :

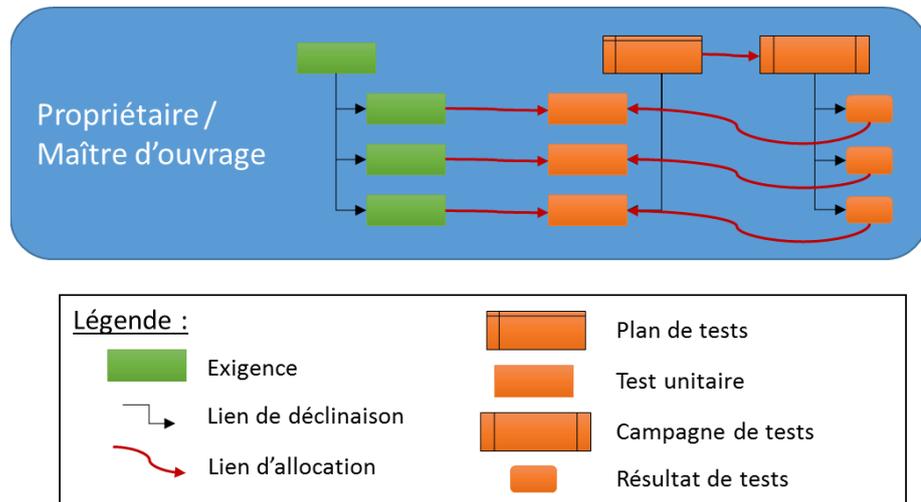


Figure 28: Modélisation de la gestion des tests

**Une représentation de
la construction d'un
référentiel d'exigences**

La description faite dans ce chapitre permet de représenter comment se construit un référentiel d'exigences sur la base d'un contrat. Néanmoins, cette structure ne permet pas de maîtriser la définition d'un produit, dans notre cas d'une chaussée. Il faut ventiler les exigences dans une structure plus pérenne, afin de conserver la traçabilité tout au long du cycle de vie.

5.3. L'organisation des exigences appliquées aux chaussées

L'arborescence produit d'une chaussée

L'objectif de l'UC2 est d'étudier la gestion de données des chaussées tout au long de son cycle de vie. La structure opérationnelle permet de suivre l'évolution des exigences au fur et à mesure du projet d'une nouvelle chaussée. Néanmoins, cette structure n'est pas pérenne tout au long du cycle de vie. Les contrats sont à durée déterminée et les acteurs se suivent sans nécessairement se croiser (Conception, Construction, Exploitation).

Il est recommandé de modéliser une architecture de la chaussée, permettant ainsi de suivre la définition de la chaussée dans son ensemble. Une manière de représenter la chaussée est la suivante :

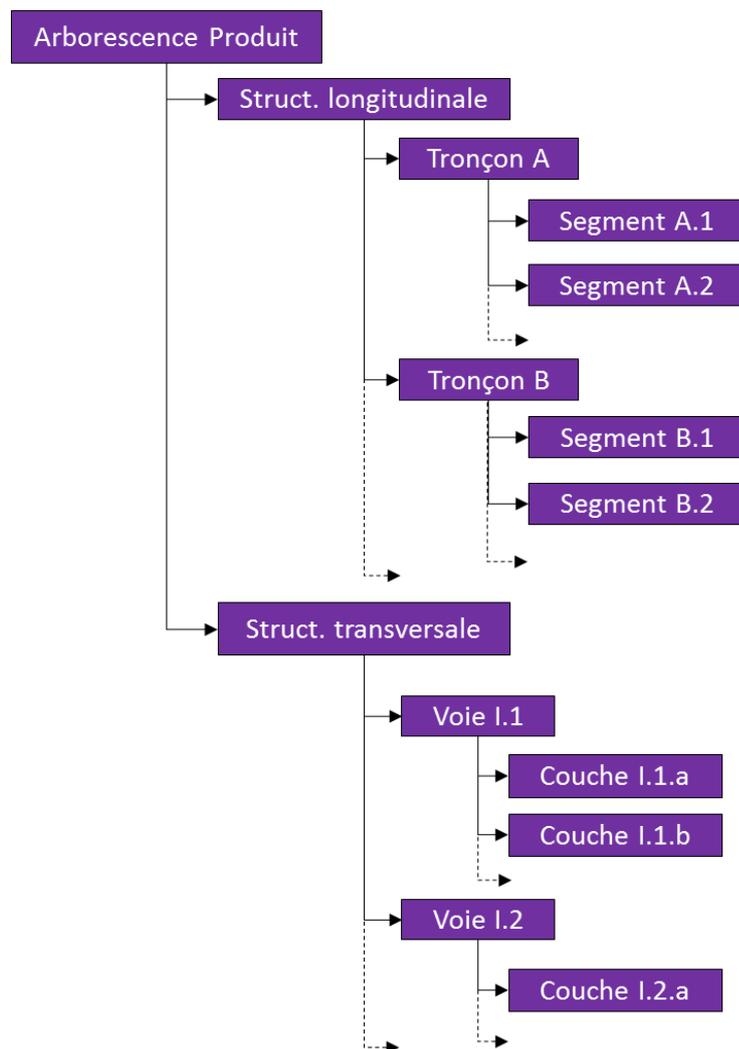


Figure 29: Architecture produit d'une chaussée

Dissocier le découpage longitudinal de la chaussée, et le découpage des couches

Le choix est fait ici de dissocier le découpage longitudinal de la chaussée, et le découpage des couches. Ce choix n'est pas définitif et doit être affiné sur un cas concret. Néanmoins, cette représentation permet à la fois de répartir les exigences dans des contextes différents. Un mécanisme de consolidation de l'information est cependant nécessaire.

5.3 L'organisation des exigences appliquées aux chaussées | L'arborescence produit d'une chaussée

Définir un contexte d'applicabilité

Il est proposé de définir un contexte d'applicabilité suivant le pk (point kilométrique). Pour ce faire, on définit les plages d'applicabilités de chaque élément :

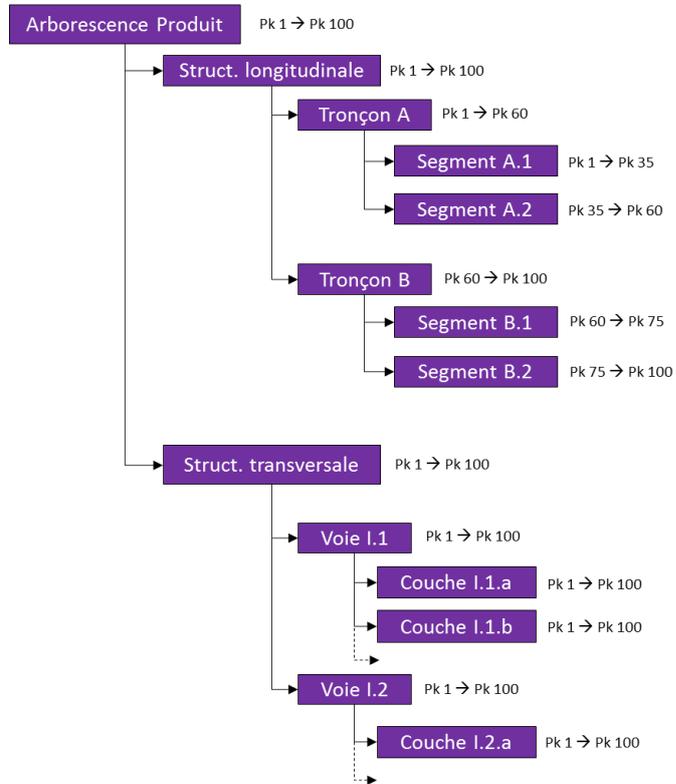


Figure 30: Définition d'applicabilités sur l'architecture de la chaussée

Informations propres au contexte

Pour retrouver les informations propres au contexte, on filtre sur le point kilométrique en question (par exemple Pk 10) :

Contexte Pk 10

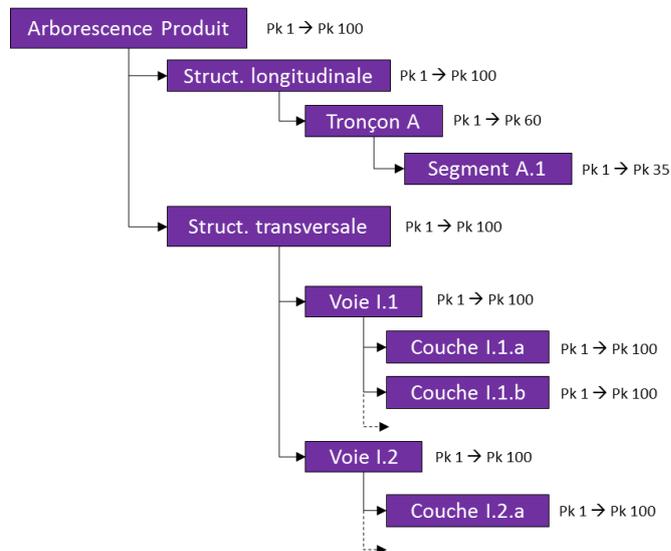


Figure 31: Architecture de la chaussée en contexte Pk=10

5.3 L'organisation des exigences appliquées aux chaussées | L'arborescence produit d'une chaussée

Filtrer sur une plage kilométrique

On peut également filtrer sur une plage kilométrique (par exemple Pk 60→Pk 70) :

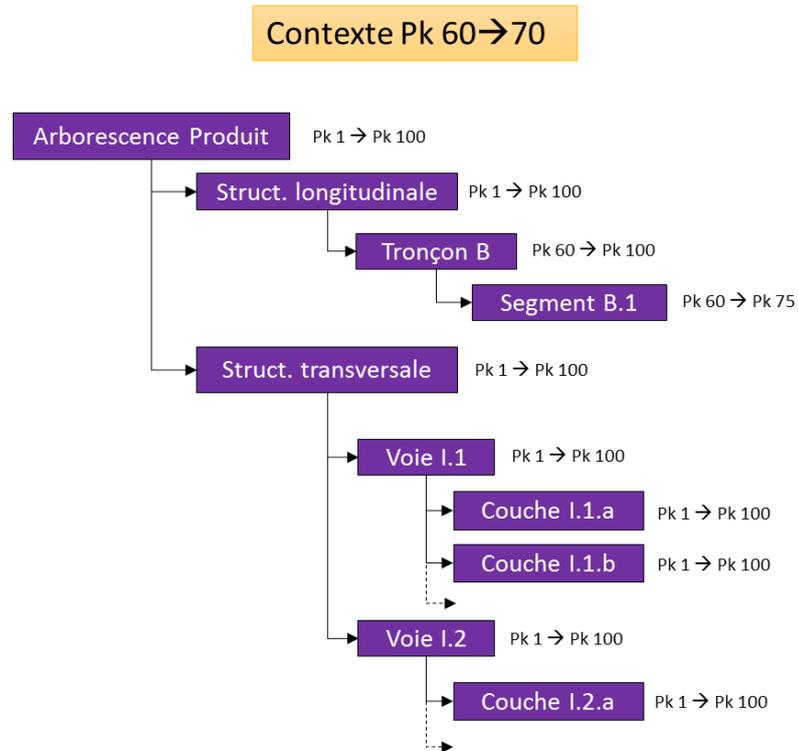


Figure 32: Architecture de la chaussée en contexte Pk=[60 ;70[

Un seul profil en travers

Dans ce cas de figure, il n'y a qu'un seul profil en travers. Il n'empêche que le mécanisme reste le même. Il permet de dissocier les performances attendues en termes de flux et de construction, entre autres.

Ce mécanisme permet de répartir la définition de la chaussée suivant plusieurs axes (Longitudinale et Transversale), et réduire le découpage des sous-éléments de la chaussée. Ainsi, on alimente l'arborescence suivant les différents contextes. On reconstruit l'ensemble des informations par filtration sur le contexte.

5.3 L'organisation des exigences appliquées aux chaussées

La maîtrise des exigences dans une arborescence produit

Comme nous l'avons montré au-dessus, nous avons proposé de définir deux structures distinctes pour gérer les exigences d'une chaussée. D'abord une structure contractuelle, car elle est la première mise en place et permet de ventiler les exigences de haut niveau. Ensuite, une structure produit suivant 2 axes (transversale et longitudinale) :

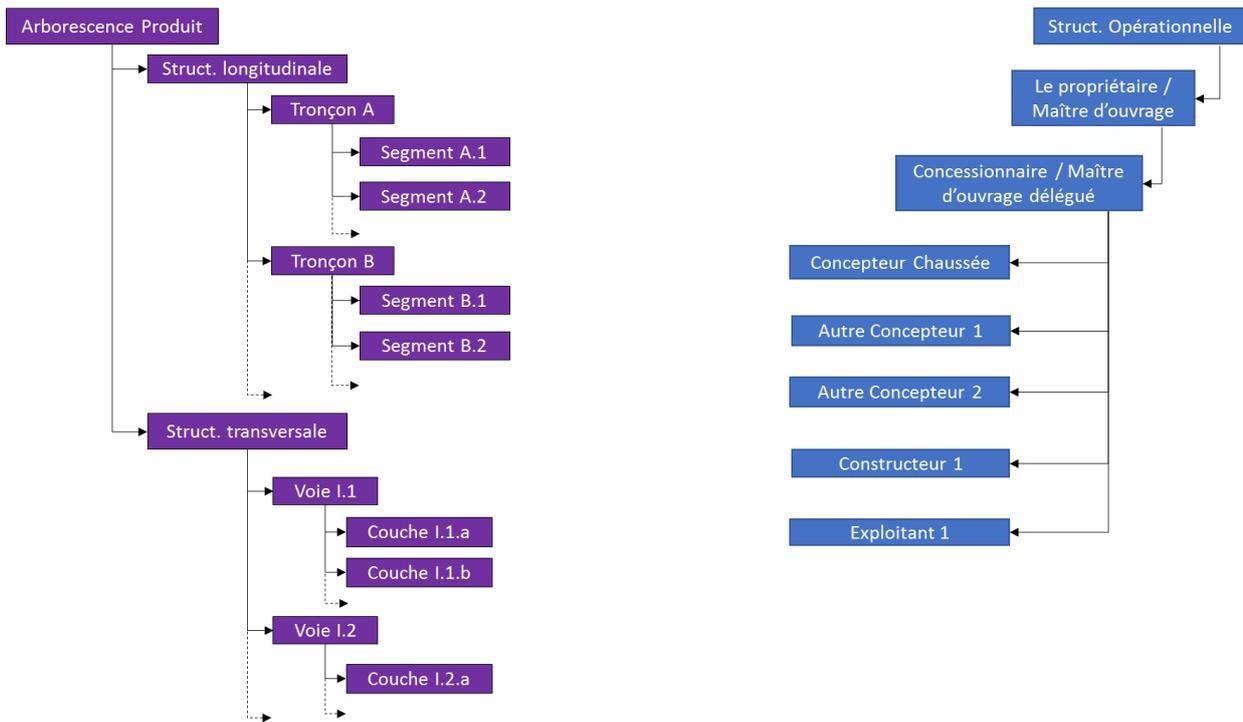


Figure 33: Les référentiels de gestion de données d'une chaussée

Les exigences ont une traçabilité multiniveau

Comme nous l'avons vu dans la partie 5.2, les exigences ont une traçabilité multi-niveau. Nous n'intégrons pas ce concept dans notre représentation, mais uniquement l'allocation de cahier des charges dans la phase amont (Conception, Construction). Le principe étant équivalent pour la suite. Nous simplifions la représentation en regroupant les exigences en « cahiers des charges » et « spécification opérationnelle » :



5.3 L'organisation des exigences appliquées aux chaussées | La maîtrise des exigences dans une arborescence produit

Représentation dans notre cas

La représentation dans notre cas particulier est la suivante :

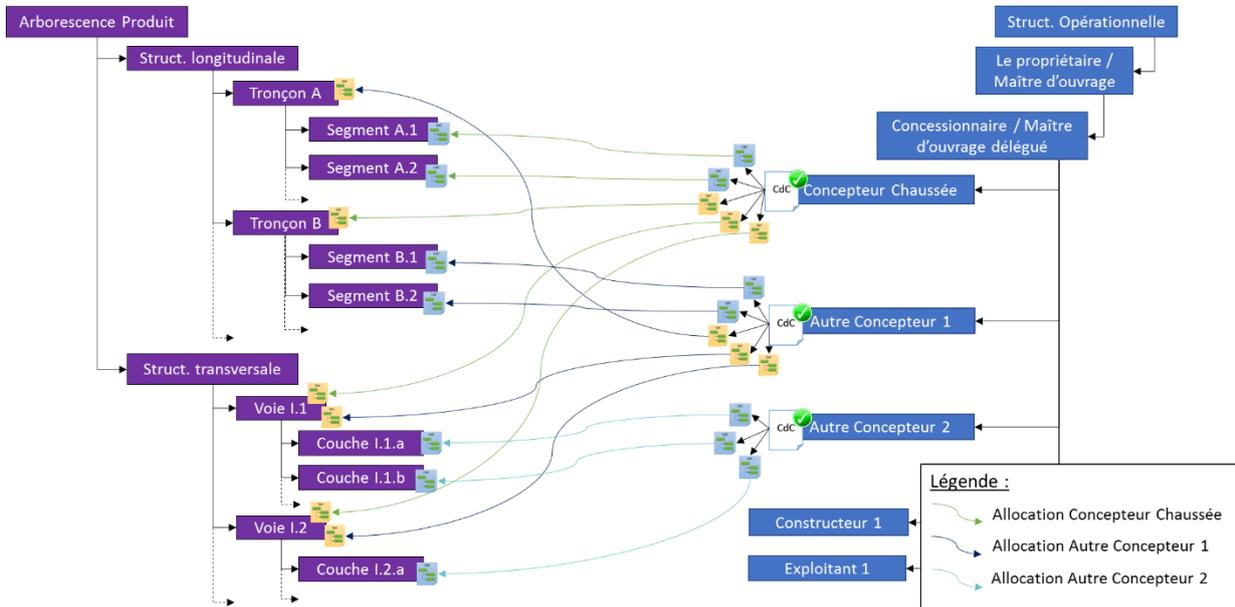


Figure 34: Gestion des exigences appliquées à une chaussée

Explications

Dans notre cas ci-dessus, la chaussée est composée de 2 tronçons.

- Le concepteur 1 a la charge de concevoir le Tronçon A.
- Le concepteur 2 a la charge de concevoir le Tronçon B.
- Le constructeur 1 quant à lui réalise l'ensemble des 2 tronçons.

Chacun d'entre eux reçoit un cahier des charges de la part du maître d'ouvrage délégué, et décline les exigences pour spécifier les éléments de l'arborescence produit :

- Le concepteur 1 spécifie les 2 segments du Tronçon A. Il définit des contraintes vers le Tronçon B pour garantir une continuité, et il définit des contraintes pour les voies de la chaussée.
- Le concepteur 2 spécifie les 2 segments du Tronçon B. Il définit des contraintes vers le Tronçon A pour garantir une continuité, et il définit des contraintes pour les voies de la chaussée.
- Le constructeur 1 intègre les contraintes émises sur les voies (par les 2 concepteurs), et il spécifie les couches qu'il doit réaliser.

Il faut noter que d'un point de vue pratique, le constructeur n'intervient qu'après le travail de conception.

Le travail de déclinaison des exigences permet de construire l'arborescence produit au fur et à mesure. L'arborescence produit peut évoluer dans le temps.

5.3 L'organisation des exigences appliquées aux chaussées

La ventilation des types d'exigences sur l'arborescence produit dans le cas de la chaussée

Dans le cadre d'autres travaux, nous avons identifiés les types d'exigences qui peuvent s'appliquer au cas des chaussées. La représentation permet d'identifier :

- Les exigences ventilées sur la structure produit.
- L'acteur source de ces exigences :

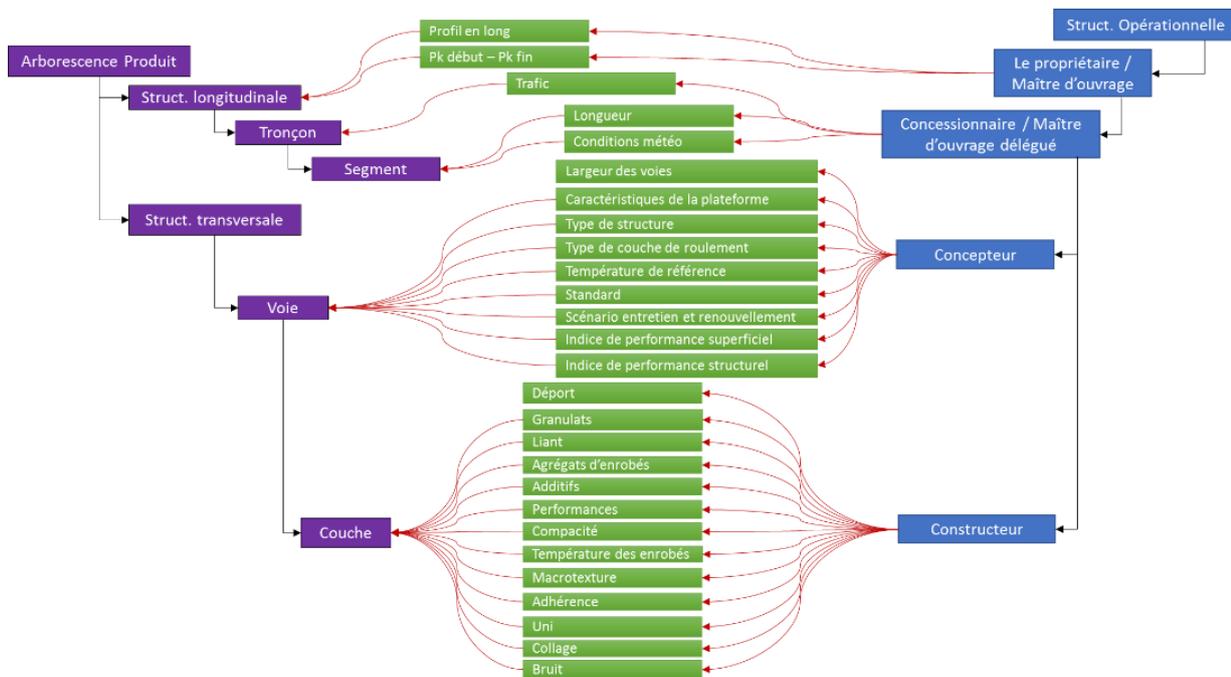


Figure 35: Répartition des types d'exigences sur les référentiels de la chaussée

Les exigences propres à la chaussée

Cette représentation traite des exigences propres à la chaussée. D'autres exigences purement opérationnelles, présentes dans les contrats, peuvent être allouées aux acteurs. Néanmoins, il n'est pas obligatoire de les ventiler sur l'arborescence produit.

5.4. Les bonnes pratiques à mettre en œuvre

Une liste de processus d'échanges pouvant convenir à la construction

La mise en œuvre d'outils informatiques dédiés à la gestion des exigences doit être accompagnée d'une mise en place de processus pour le métier. Les processus doivent être adaptés à chaque projet selon ces spécificités (Enjeux, Montage contractuel...). Néanmoins, voici une liste de processus d'échanges qui pourraient convenir à la construction :

Processus	Description
Stockage des spécifications de sous-ensembles dans l'arborescence produit.	<p>Dans ce premier processus, il s'agit de segmenter le produit (ex : Une chaussée) en éléments et sous-éléments pour y allouer les exigences applicables, mais aussi pour répartir la responsabilité sur ces éléments. Ce découpage peut se faire suivant différents critères, niveau par niveau (administratif, contractuel, géographique...). L'essentiel est d'obtenir un découpage invariant (ou presque) dans le temps. Ces éléments et sous-éléments forment ce que l'on appelle une arborescence produit, une architecture qui permet d'organiser les données.</p> <p>Une fois ce travail réalisé, on peut affecter les spécifications (ou cahier des charges) à chaque niveau de l'arborescence produit. Chaque exigence définie pour un élément est nécessairement applicable aux sous-éléments. Cette règle permet de construire un référentiel d'exigence optimisé et cohérent.</p> <p>Enfin, on définit quels intervenants sont responsables d'un ou plusieurs éléments et des cahiers des charges associés.</p>
Définition des interfaces et des responsabilités associées.	<p>Pour ce processus, il s'agit d'identifier quels sont les impacts (interférences, dimensionnements...) entre les éléments d'un même niveau, que l'on appelle également une interface. L'objectif est de permettre à 2 intervenants dans une construction de définir les exigences que doivent respecter un autre élément, afin que l'élément dont il a la charge puisse être conforme au cahier des charges. Ce travail est fait de part et d'autre afin de former 2 par 2 une spécification d'interface qui doit garantir la cohérence globale de la construction. La maîtrise d'ouvrage doit conserver un rôle d'arbitre dans ce travail, si 2 intervenants distincts contractuellement sont engagés dans ce processus.</p>
Envoi d'une spécification vers un contractant	<p>La construction de la cohérence d'un système se fait niveau par niveau. Pour la construction, la maîtrise d'ouvrage reçoit le cahier des charges, fait la synthèse des réglementations et normes applicables à la construction. Elle forme ainsi un premier niveau d'exigences, une « spécification de haut niveau ». Elle définit le premier niveau de l'arborescence produit (Processus 1.), décline les exigences et les alloue aux éléments du premier niveau.</p> <p>L'ensemble des exigences allouées à un élément forment une spécification qui est transmise à un concepteur par exemple. On répète ce processus pour autant de niveau que nécessaire.</p>
Définition et contrôle des spécifications attendues de la part d'un contractant	<p>À ce point du processus, le contractant a reçu son cahier des charges et doit décliner les exigences qui lui sont allouées pour détailler comment il respecte le cahier des charges.</p> <p>Pour un montage complexe qui verrait la participation de sous-contractant, alors le contractant répète les processus 1 à 3. Le donneur d'ordres a pour intérêt de fédérer l'ensemble des études dans son propre système.</p> <p>Une fois la déclinaison réalisée, le contractant remonte la spécification réalisée au donneur d'ordres pour validation. Ce processus doit engager le donneur d'ordres à contrôler l'étude réalisée par le contractant et à valider la solution.</p>
Analyse puis import des données d'une solution technique.	<p>Si le contractant conçoit la solution technique lui-même, alors il alloue les exigences aux articles qui composent la solution. Il doit ensuite livrer sa solution au donneur d'ordres avec toute la traçabilité entre les exigences et la solution.</p> <p>Le donneur d'ordres contrôle la complétude, c'est-à-dire que toutes les exigences livrées par le donneur d'ordres doivent être déclinées et/ou allouées sur la solution technique. Si la complétude est bonne, alors le donneur d'ordres valide et importe la conception dans son propre système. Sinon, elle demande au contractant de corriger sa solution technique.</p>

Processus	Description
Gestion des modifications et des évolutions de spécification externe.	<p>Les processus 1 à 5 présentent comment peuvent s'enchaîner les différentes étapes d'un processus de spécification outillée d'une construction. Cependant, cet enchaînement est valable dans le cas idéal, où chacun livre les données complètement finalisées.</p> <p>Les expériences passées montrent que rien n'est jamais parfaitement défini dès le début. De plus, les différents intervenants peuvent négocier les performances exigées (exemple pour respecter des contraintes de coût).</p> <p>Il est donc important de prévoir un processus de gestion des modifications ou des évolutions qui permette de faire évoluer les données, tout en mesurant les éléments impactés et en maintenant la cohérence.</p>

6. CONCLUSION

La gestion des exigences s'intègre à des méthodes plus larges

En conclusion, la gestion des exigences s'intègre à des méthodes plus larges telles que :

- L'ingénierie système.
- Ou les cycles en V.

Des méthodes appliquées dans de grands secteurs industriels

Bien que différentes méthodes soient déjà utilisées dans le domaine informatique depuis plusieurs années, elles sont également appliquées dans de grands secteurs industriels tels que :

- L'automobile.
- L'aéronautique.
- Le nucléaire.

Ces méthodes peuvent également s'appliquer à la construction, mais à la condition que les outils se développent en prenant en compte les processus dans les outils.

L'interopérabilité des systèmes : la clé de la réussite pour un projet avec plusieurs parties prenantes

L'interopérabilité des systèmes est la clé de la réussite pour un projet faisant intervenir plusieurs parties prenantes. Cette interopérabilité repose sur un noyau de modèle de données (Simple au début), commun pour toutes les parties prenantes. Certaines parties prenantes pourraient avoir des besoins de gestion propres. Ils rattachent leur modèle de données spécifique au noyau. La contrainte est de traiter les informations échangées sur le noyau du modèle.

Des évolutions de réglementation doivent être faites

Des évolutions de réglementation doivent être faites également sur :

- Le partage de responsabilité dans un même outil informatique.
- La mise à disposition de moyen informatique dans le cadre de projet de construction.

La maîtrise des exigences pour un projet de chaussée

Maîtriser la globalité des exigences pour un projet de chaussée réclame une maîtrise des concepts et des méthodes de gestion des exigences. Il est recommandé d'identifier une cellule dédiée à la maîtrise de l'arborescence produit et des exigences applicables pour chaque projet. De nombreuses évolutions surviennent tout au long d'un projet. Il est essentiel de confier le maintien de la cohérence de la chaussée à des personnes expertes.

La nécessité de prendre en compte les chaussées existantes

Si ce mode gestion des données est implémenté dans le futur, il faudra prendre en compte les chaussées existantes pour lesquelles ce référencement des exigences n'est pas fait dans un tel détail. Il est très compliqué, voire impossible de reconstituer une base existante. La réfection de ces chaussées permettra une mise à jour des données associées. Il est recommandé de reconstruire cette base au fur et à mesure des réfections de chaussées.

Table des matières

RÉSUMÉ	2
Un projet de modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables	2
Le domaine des chaussées d'une infrastructure linéaire	2
La réunion d'un groupe de travail	2
La définition d'un modèle de données associées à la chaussée	2
Un document en trois chapitres	2
Chapitre 1 : État de l'art	2
Chapitre 2 : Structuration des données	2
Chapitre 3 : Gestion des exigences et des décisions	2
GLOSSAIRE	3
I. INTRODUCTION	5
Un prolongement de plusieurs projets et initiatives	5
Un projet national aux ambitions multiples	5
Un double objectif	5
Un projet s'appuyant sur les résultats de projets antérieurs	5
Des approches conceptuelles et des cas d'usage réels	5
2. POSITION, OBJECTIF ET STRUCTURE DU PRÉSENT DOCUMENT	6
Il ne s'agit pas d'un état de l'art sur les maquettes numériques... ..	6
... mais d'un point de situation sur l'intérêt des infrastructures routières	6
De réelles perspectives de fluidification des échanges d'informations entre les acteurs	6
Des acteurs et une structure variant d'un pays à un autre	6
La nature des informations à échanger	7
De nombreuses sources bibliographiques pour caractériser les infrastructures routières	7
La structuration des termes techniques est reprise dans ce document	7
Des processus de nature et de complexité très variées	7
La notion de maquette numérique	7
Une brève revue de l'existant dans ce domaine	7
Un point de situation des sujets présentés	7
3. ACTEURS ET MÉTIERS DANS LA GESTION DES CHAUSSÉES	8
La vision de la gestion des infrastructures routières	8
La vision anglo-saxonne	8
La vision française	8
3.1. Visions d'ensemble des acteurs	8
Le projet V-CON	8
Les différents acteurs	9
Un projet qui examine les scénarios de gestion et identifie les échanges entre acteurs	9
Une structure de gestion plus large, mieux connue en France	9
Les rôles et fonctions de chaque acteur basés sur ces schémas	9
Une structure un peu plus complexe dans une notion de variante ou de conception / réalisation	11
Chaque réseau est un cas particulier	11
L'entreprise qui intervient n'est pas celle qui a construit le réseau ou l'ouvrage	11
3.2. Le propriétaire (= Maître d'ouvrage / Concédant)	12
Une collectivité publique propriétaire, le cas le plus fréquent en France	12
Le propriétaire représente une population	12
Le propriétaire confie ses fonctions pour les mener à bien	12
3.3. Le gestionnaire (= Maître d'ouvrage délégué / concessionnaire)	13
Un service du propriétaire ou une société privée concessionnaire	13
Le rôle du concessionnaire	13

Ses fonctions, ses métiers	13
3.4. L'exploitant	14
L'exploitant a 2 métiers	14
4 types de considérations à l'origine des opérations	14
Des spécifications techniques transmises au concepteur ou aux constructeurs	14
Une analyse permettant d'orienter la recherche des textes	15
3.5. Le concepteur	16
Les deux cas de sollicitation du concepteur	16
Un rôle au-delà du simple calcul de dimensionnement	16
Les données de travail du concepteur	16
La production de toutes les informations sur les composants de la chaussée ou du renforcement.....	16
3.6. Le constructeur	17
Des fonctions assez vastes	17
Une organisation de chantier nécessitant l'anticipation de nombreuses activités	17
Mise en œuvre des mesures prévues et gestion des impondérables	17
Phases à l'issue du chantier	18
4. LES DONNÉES ÉCHANGÉES	19
Un échange d'informations permanent	19
L'organisation de la circulation de ces informations	19
Une structure de données fondée sur le concept d'objet	19
Plusieurs angles pour illustrer ce concept	20
L'angle hiérarchique.....	20
L'angle qualificatif	22
L'angle des actions	22
L'angle des acteurs.....	22
Une analyse à approfondir	22
5. LES PROCESSUS	23
5.1. Différents niveaux de processus	23
De nombreux processus de gestion d'une route	23
Des processus pouvant être regroupés en trois macro-processus.....	23
Chaque processus peut être décomposé en sous-processus métier	24
Processus de gestion d'un réseau routier	24
5.2. Acteurs, objets et processus	25
L'analyse des acteurs, objets et processus	25
Un résumé en trois propositions	25
Une analyse à approfondir	25
6. MAQUETTE NUMÉRIQUE - L'EXISTANT	26
Deux catégories de systèmes de stockage, de traitement et de restitution des données	26
6.1. Les bases de données routières	26
Un bref historique	26
Une apparition des bases de données routières à la fin des années 70	26
L'apparition d'une nouvelle base de données à la fin des années 80	26
Une base de données encore utilisée aujourd'hui	26
Spécificités techniques	26
Un référentiel linéaire.....	26
Toutes les informations sont localisées par rapport au référentiel	26
Des informations repérées par rapport à une route.....	26
Toutes les informations sont tracées sur des cartes	26
Qui les utilisent et pour faire quoi ?	27
« Gérer une route existante »	27
« Suppression d'une route existante »	27
Tentative de création d'une structure de base de données routière dans les années 90	27
6.2. Les systèmes d'informations géographiques	27
Bref historique	27
Les SIG, des logiciels de stockage et de restitution de données	27
L'utilisation des SIG par les Conseils généraux.....	27

Une alternative à la base de données routière.....	27
... sans que cette affirmation puisse être confirmée.....	27
Spécificités techniques	28
La localisation des données dans un référentiel	28
Une information exploitée indirectement.....	28
La modélisation des interactions entre les routes et les autres éléments.....	28
Qui les utilisent et pourquoi faire ?	28
Une utilisation par les CG au niveau des DS.....	28
Un outil très utile	28
6.3. Complémentarité des BDR et des SIG. Place d'une MN	29
Les outils de gestion de données actuels	29
Une évolution nécessaire	29
7. TERMINOLOGIE.....	30
Une grande rigueur est exigée dans la terminologie.....	30
Un référentiel de terminologie	30
8. ANNEXES.....	31
8.1. Annexe A : Documentation propriétaire	31
8.2. Annexe B : Documentation gestionnaire	31
8.3. Annexe C : Documentation exploitant.....	32
8.4. Annexe D : Documentation concepteur	33
8.5. Annexe E : Documentation constructeur	34
8.6. Annexe F : Structure des données	35
I. PRÉAMBULE	40
Définition de la gestion du patrimoine dans le dictionnaire de l'AIPCR.....	40
Pourquoi considérer les chaussées comme un « patrimoine » particulier ?.....	40
Structurer les données chaussées sur le cycle de vie	40
Disposer de toutes les informations nécessaires	40
Recenser l'ensemble des données.....	40
2. LA STRUCTURATION DES DONNÉES CHAUSSÉES DANS MINND	41
Un projet de modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables	41
La structuration des données chaussées.....	41
Une réunion de tous les types d'acteurs susceptibles de participer à un projet routier.....	41
Les objectifs	41
3. LA DÉMARCHE ADOPTÉE	42
Une opportunité	42
Les questions posées	42
4. LES ACTEURS	43
Les principaux acteurs identifiés.....	43
5. LES DONNÉES	44
Deux types de données nécessaires.....	44
Les données statiques.....	44
Les données dynamiques.....	44
Les constatations à la base de la réflexion.....	44
Regroupement des données par « opérations élémentaires ».....	44
Conception/construction	45
Exploitation	45
6. LES PHASES DU PROJET	46
6.1. En phase conception.....	46
Phases retenues.....	46
Explications.....	46
6.2. En phase construction	47
Phases retenues.....	47

6.3. En phase exploitation.....	47
Phases retenues.....	47
7. LA STRUCTURATION DES DONNÉES.....	48
La décomposition d'un projet routier.....	48
Les objets retrouvés.....	48
Les difficultés du découpage.....	49
Les notions d'objet et sous-objet.....	49
La décomposition adoptée dans le cas de la structuration des données chaussées.....	49
Association de la notion de découpage spatial à celle de découpage par objets/composants.....	49
8. LA REPRÉSENTATION DES ÉCHANGES.....	51
8.1. Nature des échanges.....	51
En phase conception.....	51
APA/AVP.....	51
PRO.....	51
DCE.....	51
En phase construction.....	52
Marché.....	52
Préparation.....	52
Travaux.....	52
Réception.....	53
Phase exploitation.....	53
Suivi et entretien courant.....	53
Auscultation et GER.....	53
8.2. La représentation des échanges.....	53
Une question fondamentale.....	53
Une matrice pour formaliser les échanges.....	53
Une représentation utile.....	54
Un formalisme qui est une référence mondialement reconnue.....	54
L'objectif du BPMN.....	54
Une représentation standardisée du déroulement des processus.....	54
Un processus représente un flux séquentiel d'activités ou de tâches.....	54
La représentation de la structuration des données.....	54
Règle de nommage des échanges.....	54
9. ANNEXES.....	55
9.1. Annexe 1 : Tableau de structuration des données.....	55
9.2. Annexe 2 : représentation des données au format BPMN.....	56
Légende.....	57
9.3. Annexe 3 : proposition d'extension des IFC – Projet IFC roads.....	58
I. INTRODUCTION.....	60
1.1. Contexte du Projet MINnD.....	60
Maîtriser et partager les informations : des enjeux essentiels pour le secteur du BTP.....	60
Le premier enjeu : passer à l'élément plus fin qu'est l'information.....	60
La maquette numérique d'un objet manufacturé s'intéresse à un produit « nouveau ».....	60
Le BIM : une vision désincarnée, décontextualisée d'un bâtiment.....	60
Le modèle IFC pour le bâtiment.....	60
L'IFC Bridge pour étendre le BIM aux ouvrages d'art.....	60
Des logiciels de tracés routiers ou ferroviaires.....	61
Une approche surfacique.....	61
Un phasage nécessitant des extractions et des remblais consécutifs.....	61
Un SIG pour analyser l'impact du projet sur l'environnement.....	61
Aucun logiciel ne peut traiter tous les types de structures rencontrés.....	61
La sauvegarde d'un modèle est un fichier unique.....	61
1.2. Objectifs.....	61
Des enjeux majeurs pour le secteur du BTP.....	61

Les applications et retombées attendues	61
1.3. La gestion d'exigence	62
Un champ d'applications très vaste	62
Une exigence est un concept plus générique qu'une fonction	62
... qui peut être employé dans tous les domaines de la création humaine	62
... et donnant lieu à une quantité importante de documents	62
Les secteurs d'activités les plus friands de ce type de solutions	62
Une gestion des exigences qui diffère d'un secteur à l'autre	62
L'ingénierie système : le premier à s'intéresser à la gestion des exigences	62
L'origine des exigences	62
Des chiffres pour comprendre l'importance de la gestion d'exigences	63
Une équation entre coût et réussite d'un projet	63
Enquête IBM®	63
Selon MAP®	63
Livrer des produits et des solutions conformes aux attentes	63
Les exigences sont la base de l'entente client-fournisseur	64
2. DES CONCEPTS ET DES NORMES	65
2.1. Application Life cycle Management	65
Du PLM à l'ALM, un transfert de best practices de l'industrie au domaine applicatif	65
L'intelligence embarquée : une des (r)évolutions majeures du début de 21 ^e siècle	65
L'ALM, une réponse industrielle à la complexité applicative	65
Une traçabilité complète entre exigences fonctionnelles et techniques, processus métiers, tests associés	65
Une réponse satisfaisante à la gestion d'un parc applicatif complexe, hétérogène	65
L'ALM, valeur ajoutée pour les systèmes embarqués	66
Un système de gestion de chaque cycle de vie	66
L'ALM s'affirme dans l'informatique de gestion et dans l'industrie des systèmes embarqués	66
ALM, quelle définition ?	66
L'ALM, c'est plus que le SDLC	66
Une division en trois domaines distincts	66
Le processus de Gouvernance	67
La première étape : développer les métiers	67
La gestion de portefeuille d'applications	67
La gouvernance, seule activité qui s'étend sur toute la durée de l'ALM	67
Le processus de Développement	67
Une série d'itérations	67
Déploiement de l'application	67
Le processus Opérationnel	68
Suivi des applications déployées	68
Les 3 aspects présentés sont importants et jouent un rôle majeur	68
Maximiser la valeur des applications développées	68
2.2. Product Life cycle Management	68
Le PLM, qu'est que c'est ?	68
Une démarche à rapprocher du KM	68
Un rapprochement fort avec l'ERP de l'entreprise et avec les outils de gestion de la relation client	69
Le PLM, une approche holistique du produit	69
Les étapes d'une « solution PLM »	69
Historique : les premiers périmètres fonctionnels informatisés	69
Émergence des « suites PLM »	69
Un enjeu cristallisé autour de « référentiels produits »	69
Un des 4 piliers de l'entreprise numérique	70
Des niveaux de maturité différents selon les secteurs	70
Le PLM, système critique et transversal au service de l'entreprise	70
Une prise de conscience s'est opérée de la part des utilisateurs	70
Deux grands segments	70
De nouvelles extensions au périmètre PLM	71
2.3. Building Information Modeling	71
Le BIM, qu'est-ce que c'est ?	71
Un modèle 3D intelligent	71
Des investissements de nombreuses entreprises	71

La norme des futurs marchés publics de travaux.....	71
Fonctionnement – Mode Actuel	72
Fonctionnement : En Devenir	73
Les coûts liés au manque d'interopérabilité	73
Un frein à la diffusion de l'innovation	73
Des difficultés à s'engager sur les garanties de résultats	73
La maquette numérique ou le BIM	73
L'automatisation du transfert de données	74
Vers l'engagement de résultats	74
La géométrie doit être considérée comme un attribut du produit	74
L'objet peut être un système constructif	75
L'accès à des catalogues de produits et systèmes d'industriels	75
2.4. La norme PLCS	76
Présentation de la norme PLCS	76
Présentation d'un cas métier	77
Maximiser les revenus au cours du cycle de vie de leurs produits.....	77
Les OEMs pour exploiter les opportunités du marché.....	77
La capacité à gérer avec précision et efficacité les informations complexes.....	77
Présentation des problématiques	78
Le but du PLCS	78
Origines et participants.....	79
Poursuite des travaux sous le PLCS Comité technique d'OASIS.....	79
Le périmètre d'activité.....	79
La relation avec la chaîne d'approvisionnement.....	79
Limiter la portée du PLCS.....	79
Les composantes.....	80
La vision de l'entreprise.....	80
Le modèle d'activité	80
Le modèle d'information	81
La mise en œuvre de la vision PLCS complète dans une entreprise	81
En synthèse	81
2.5. Le format IFC	82
Un format de fichier orienté objet	82
2.6. Le format STEP	82
Présentation du format STEP	82
Une norme internationale.....	82
Les développements effectués dans le domaine de la gestion de données techniques	82
Des efforts pour proposer des solutions.....	83
Les problèmes de communication en interne.....	83
Les problèmes de communication en externe.....	83
Vers une norme ISO.....	83
L'élaboration d'une nouvelle norme	83
ISO 10303, la désignation officielle de STEP.....	83
STEP est indépendant des systèmes informatiques.....	84
Une architecture sur plusieurs niveaux.....	84
Un découpage en Classes ou « Parties »	84
Groupes de Travail ISO STEP.....	85
Manipuler des vues multiples du produit.....	85
L'intégration des points de vue fonctionnels et physiques.....	85
Mesurer le gain apporté par STEP.....	85
Le rôle de STEP.....	85
Une architecture en évolution	86
Des propositions complémentaires	86
Les « Suites » de protocoles d'application.....	86
2.7. IEEE	86
IEEE830	86
Objectif.....	86
IEEE1233	87
Garantir que la SES est bien comprise.....	87
Les exigences brutes	87

Création du système de gestion des exigences brutes.....	87
3. LA GESTION D'EXIGENCES	88
Une exigence est l'expression d'un besoin	88
3.1. Formalisation.....	88
Les éléments d'une exigence.....	88
L'identifiant de l'exigence.....	88
Les éléments d'une bonne exigence.....	89
La notion de type.....	89
Création et présentation d'un système de gestion d'exigences	89
Les exigences des normes IEEE1233 et IEEE830.....	89
3.2. Structure.....	90
Plusieurs éléments composent une exigence.....	90
Exigence sans condition.....	90
Exigence avec condition	90
3.3. Caractéristiques	91
Les caractéristiques d'une exigence.....	91
3.4. Couverture.....	93
La couverture des exigences	93
3.5. Gestion en configuration.....	95
Définition.....	95
La gestion de systèmes complexes.....	95
Des systèmes structurés suivant une ou plusieurs architecture(s).....	95
Un principe pour identifier le niveau du « juste nécessaire »	95
Les enjeux de la gestion de configuration.....	96
Une structuration des données cohérente.....	96
Plusieurs types de gestion de configuration.....	96
La gestion des exigences en configuration	96
4. DES OUTILS DE GESTION DES EXIGENCES	97
Industrialisation de la gestion des exigences.....	97
Cycle en V.....	97
Ingénierie système.....	97
4.1. Enovia Requirement Central.....	98
Un module de la solution PLM Enovia V6	98
Les objectifs de la solution.....	98
Plusieurs domaines fonctionnels.....	99
4.2. EuroStep : Share-A-Space	100
Présentation	100
Les objectifs de la solution	100
Principales fonctions.....	100
4.3. IBM Rational Doors.....	101
Une application pour optimiser la gestion des exigences	101
4.4. PTC Integrity.....	101
Des exigences logicielles allant au-delà de la simple capture	101
Une fonction de traçabilité personnalisable.....	101
Fonctionnalités.....	102
4.5. D'autres outils.....	102
D'autres outils pour gérer les exigences.....	102
Envision	102
Polarion Requirements	102
5. CAS D'APPLICATION : GESTION DES EXIGENCES DANS LE CONTEXTE DU PROJET MINND	103
5.1. Introduction	103
Une démarche d'ingénierie système.....	103

L'utilisation de ces méthodes pour accroître la maîtrise des produits	103
Des outils pour intégrer les fonctionnalités d'ingénierie système	103
5.2. Les principes de gestion d'exigences à retenir	103
L'identification des responsabilités (traçabilité amont/aval)	103
L'architecture organique	103
Une interface de type contrat.....	104
Explications	104
Exemple d'un cas appliqué aux chaussées.....	104
Prise en compte des exigences	105
La relation verticale des acteurs.....	105
Cahier des charges émis par l'interface.....	105
Explications	106
Une définition essentielle pour la réalisation de projet complexe.....	106
Des échanges assez complexes	106
Prise en compte des exigences	107
Une seconde structure qui complète la première	107
Vérification et validation des exigences.....	107
La remontée du V.....	107
La vérification des tests	107
Définition et suivi des tests	108
Une représentation de la construction d'un référentiel d'exigences.....	108
5.3. L'organisation des exigences appliquées aux chaussées.....	109
L'arborescence produit d'une chaussée.....	109
Dissocier le découpage longitudinal de la chaussée, et le découpage des couches	109
Définir un contexte d'applicabilité.....	110
Informations propres au contexte	110
Filtrer sur une plage kilométrique	111
Un seul profil en travers.....	111
La maîtrise des exigences dans une arborescence produit.....	112
Les exigences ont une traçabilité multiniveau	112
Représentation dans notre cas.....	113
Explications	113
La ventilation des types d'exigences sur l'arborescence produit dans le cas de la chaussée.....	114
Les exigences propres à la chaussée.....	114
5.4. Les bonnes pratiques à mettre en œuvre	115
Une liste de processus d'échanges pouvant convenir à la construction	115
6. CONCLUSION	117
La gestion des exigences s'intègre à des méthodes plus larges	117
Des méthodes appliquées dans de grands secteurs industriels.....	117
L'interopérabilité des systèmes : la clé de la réussite pour un projet avec plusieurs parties prenantes ..	117
Des évolutions de réglementation doivent être faites.....	117
La maîtrise des exigences pour un projet de chaussée.....	117
La nécessité de prendre en compte les chaussées existantes.....	117

Sommaire des figures

Figure 1 – Vision d'ensemble d'une structure de gestion (V-CON).....	8
Figure 2a – Structure de la gestion des infrastructures routières en France (réseaux publics)	10
Figure 2b – Structure de la gestion des infrastructures routières en France (réseaux concédés)	10
Figure 2c – Structure de la gestion des infrastructures routières en France (réseaux concédés).....	11
Figure 3 – Concept d'objet routier	19
Figure 4 : illustration de cette vision de façon schématique	20
Figure 5 – Décomposition de l'objet profil en sous-objets (IfcRoads).....	21
Figure 6 – Décomposition de l'objet chaussée ("carriageway") en sous-objet (IfcRoads)	21
Figure 7 – Macro-processus dans la vie d'une route (illustration).....	23
Figure 8 – Les outils de gestion de données actuels, par acteurs et macro-processus.....	29
Figure 1 : Schématisation des objets.....	48
Figure 1: Fonctionnement de la construction actuelle	72
Figure 2: BIM, architecture en devenir	73
Figure 3: Produit, attribut et intervenant	74
Figure 4: Les flux et standards du BIM.....	75
Figure 5: PLCS modèle	76
Figure 6: la vision PLCS	78
Figure 7: les concepts clés du modèle d'information PLCS	81
Figure 8: Familles de " Parties " de STEP	84
Figure 9: Déclinaison d'exigences du besoin à la solution	88
Figure 10: Caractéristiques d'une exigence : exemple 1	91
Figure 11: Caractéristiques d'une exigence : exemple 2	91
Figure 12: Caractéristiques d'une exigence : exemple 3	92
Figure 13: Caractéristiques d'une exigence : exemple 4	92
Figure 14: Caractéristiques d'une exigence : exemple 5	92
Figure 15: Couverture d'une exigence : exemple 1	93
Figure 16: Couverture d'une exigence : exemple 2.....	94
Figure 17: Couverture d'une exigence : exemple 3.....	94
Figure 18: Couverture d'une exigence : exemple 4.....	94
Figure 19: Couverture d'une exigence : exemple 5.....	95
Figure 20: Cycle en V.....	97
Figure 21: Modèle de données Ingénierie Système	97
Figure 22: Modélisation relation contractuelle entre 2 Acteurs	104
Figure 23: Modélisation d'un montage projet (contractuel).....	104
Figure 24: La déclinaison d'exigences (appliqué aux chaussées)	105
Figure 25: Modélisation des relations opérationnelles.....	105
Figure 26: Modélisation des relations opérationnelles.....	106
Figure 27: Gestion des interfaces.....	107
Figure 28: Modélisation de la gestion des tests.....	108
Figure 29: Architecture produit d'une chaussée	109
Figure 30: Définition d'applicabilités sur l'architecture de la chaussée.....	110
Figure 31: Architecture de la chaussée en contexte Pk=10	110
Figure 32: Architecture de la chaussée en contexte Pk=[60 ;70[.....	111
Figure 33: Les référentiels de gestion de données d'une chaussée	112
Figure 34: Gestion des exigences appliquées à une chaussée	113
Figure 35: Répartition des types d'exigences sur les référentiels de la chaussée.....	114

Sommaire des tableaux

Tableau 1 - Sources de terminologie30
Tableau 2: Comparaison des normes IEEE 830 et IEEE 1233.....89