



Modélisation des INformations INteropérables  
pour les INfrastructures Durables

# GT3.1 : Intégration progressive du PLM dans l'exploitation des infrastructures de transport

## Création des données

### Auteurs / Organismes

Sylvain GUILLOTEAU (VINCI Autoroutes)  
Michel RIVES (Vianova Systems France)  
Vincent COUSIN (Processus et innovation)  
Lionel NAJMAN (CS Group)  
Jean-Marie DOLO (Eiffage)

Jean BEHAR (Ingerop)  
Nolwenn LANCIEN (Arkance)  
Yvan TCHANA (Inetum)  
Florian HULIN (SNCF Réseaux)  
Pierre MARECHAL (Colas)

### Relecteur / Organismes

Sylvain RISS (BG Ingénieurs conseils)

## Thème de rattachement : Création des données

MINnDs2\_GT3.1\_integration\_progressive\_PLM\_exploitation\_infrastructure\_transport\_026\_2022  
LC/21/MINNDS2/033-034-035-036-037-038-039-040  
Décembre 2022

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

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

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

# Sommaire

1. RÉSUMÉ.....	2
2. PRÉAMBULE .....	3
2.1 Contexte, besoins et premières définitions .....	3
2.2 Les usages permis par une solution PLM .....	8
3. PRÉSENTATION D'UTILISATION DU PLM.....	15
3.1 Industrie manufacturière .....	15
3.2 Ouvrages industriels .....	18
3.3 Infrastructure linéaire .....	20
4. SE PRÉPARER À APPLIQUER LE PLM AUX INFRASTRUCTURES LINÉAIRES .....	22
4.1 Contexte et besoins spécifiques des infrastructures .....	22
4.2 Complémentarité et apports du PLM.....	28
5. EXEMPLE D'APPLICATION PLM : CYCLE DE VIE DES CHAUSSÉES.....	38
5.1 Préambule .....	38
5.2 Application du processus PLM.....	39
5.3 Synthèse.....	49
6. PRÉCONISATIONS, MISE EN ŒUVRE ET CONCLUSION.....	52
6.1 Préconisations et seuils d'application.....	52
6.2 Méthode de mise en œuvre.....	54
6.3 Conclusion .....	56
7. GLOSSAIRE .....	57

## Mots clés principaux (Fra)

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

## Mots clés spécifiques au livrable (Fra)

PLM ; Cycle de vie ; Gestion ; Données ; Nomenclature ; Ingénierie systèmes ;

## Main key words (Eng)

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

## Deliverable key words (Eng)

PLM; Lifecycle; Management; Data; Schedule list; System engineering;

# I. RÉSUMÉ

## Résumé

La gestion du cycle de vie des produits (PLM – Product Lifecycle Management) est très développée dans l'industrie qui doit maîtriser ses processus de fabrication et produire au plus juste. L'analogie avec les infrastructures n'est pas forcément évidente car le périmètre, les acteurs et les objets sont différents et le cycle de vie d'un ouvrage est peu comparable avec un produit manufacturé dupliqué à l'identique en fonction de l'offre et la demande. Cependant l'approche PLM peut apporter des solutions de gestion et être complémentaire au BIM pour exploiter au mieux un ouvrage tout au long de sa vie, de sa conception à sa démolition.

- La première partie de ce document, après avoir rappelé les spécificités du cycle de vie d'une infrastructure linéaire et le contexte normatif, aborde les principales fonctionnalités d'un PLM.
- La seconde partie liste les premiers retours d'expérience de l'utilisation du PLM et du périmètre concerné, notamment dans les ouvrages industriels.
- La description des besoins spécifiques des infrastructures linéaires est détaillée dans la troisième partie du document. Le positionnement et la complémentarité entre le PLM et les autres outils et concepts existants est abordé.
- La quatrième partie est dédiée à un exemple d'application d'utilisation du PLM pour la gestion et la maintenance des chaussées sur une infrastructure linéaire.
- Les dernières parties permettent aux lecteurs de disposer de préconisations et donne des pistes pour déployer un PLM au sein d'une entreprise.
- Ce document est complété d'un glossaire spécifique au PLM et aux termes utilisés qui ne sont pas détaillés dans le glossaire de MINnD saison 1.

## Abstract

The product lifecycle management is much in use in industries which must master their manufacturing processes and achieve lean production goals.

Transferring this concept to infrastructures is not straightforward as the domain, the structures, and the stakeholders, as well as the lifecycle are not similar to a manufactured product massively produced to satisfy the market needs.

Nevertheless, the PLM approach can bring management solutions and complement BIM uses to operate an infrastructure all along its lifecycle from inception until dismantling.

- The first part of this document, after having recalled the specificities of the lifecycle of a linear infrastructure and the applicable standards, discusses the main functionalities of a PLM.
- The second part itemises the first return of experience in using PLM in various domains, mainly in industrial facilities.
- The description of the specific needs of linear infrastructures is detailed in the third part of this document. The place of PLM and the complementarities between various existing tools are also addressed.
- The fourth part is dedicated to a use case of PLM for managing and maintaining road pavements in a linear infrastructure.
- The last sections allow the readers to have at their disposal a few recommendations to develop a PLM within a company.

This document is supplemented with a specific glossary for PLM and also for a few words that are not in MINnD Season 1 glossary.

## 2. PRÉAMBULE

### 2.1 Contexte, besoins et premières définitions

#### Cycle de vie d'une infrastructure

Le cycle de vie d'une infrastructure est composé de différentes phases qui font intervenir une multitude d'acteurs sur une échelle de temps qui peut être très longue.

Ce processus complexe qui implique des échanges entre tous les acteurs peut être décomposé selon les phases décrites ci-après.

#### Concertation

Échanges préalables pour définir les besoins de l'exploitant, du maître d'ouvrage et des tiers, les opportunités, le périmètre du projet et engager les premières études.

#### Conception

Les acteurs travaillent sur le projet, élaborent progressivement les solutions possibles tant aux niveaux fonctionnels qu'organiques. Les échanges s'intensifient pour approfondir, détailler et fiabiliser les études. La production documentaire augmente et des flux de validation sont mis en œuvre.

#### Construction

Tous les acteurs du projet sont sollicités. Pour tracer les processus de réalisation et d'intégration progressive, la production documentaire est continue et les flux de validation nombreux impactent en temps réel la réalisation concrète du projet (dimension dite organique).

#### Réception et mise en service

L'ouvrage est réalisé, les acteurs valident la satisfaction de l'ensemble des exigences, consolident la documentation associée et préparent le transfert de l'ouvrage à l'exploitant mainteneur, préalablement formé.

#### Exploitation

Temps long qui fait intervenir de nombreux acteurs, et qui sollicite périodiquement la base documentaire. L'ouvrage est opéré, maintenu, transformé si nécessaire.

#### Démantèlement

L'ouvrage est déconstruit, phase assez rare pour une infrastructure mais à prendre en compte.

Tout au long de ce cycle de vie, des données sont échangées, mises à jour, archivées et alimentent les outils des acteurs concernés, GED, espace collaboratif, maquette numérique, GMAO et ERP.

#### Des projets à long terme

La vision précédente est celle lue usuellement comme le cycle de vie d'un projet. Il est important également d'adapter cette vision pour des infrastructures, souvent de taille très importante et qui se développent sur de nombreuses années.

#### Des projets complexes

C'est le cas par exemple pour une infrastructure aéroportuaire avec plusieurs pistes et plusieurs terminaux, des réseaux de transports à plusieurs lignes, ou encore les installations de productions d'énergie faites de plusieurs tranches décidées au fil du temps. Cela conduit le plus souvent à mener en parallèle l'exploitation et la maintenance des actifs et la conception et la construction de nouveaux, voir la rénovation d'actifs anciens.

**L'exploitation-maintenance au centre du projet**  
 Les grands exploitants d'infrastructures sont majoritairement dans ce cas de figure et c'est bien la phase d'exploitation-maintenance qui devient alors centrale avec la prise en compte de données d'exploitation en très grandes quantités.

**Un temps long**  
 Pour suivre les demandes de capacités croissantes de l'infrastructure, et assurer la cohérence avec la problématique d'ensemble, la numérisation de l'ensemble du patrimoine est une obligation de base. C'est elle qui va devoir structurer toutes les autres activités de transformation numérique.

**Des besoins opérationnels**  
 C'est là une perspective assez proche de celle des industriels qui déploient des solutions PLM pour leurs produits complexes. Ces produits évoluent et vivent sur des échelles de temps long avec coexistence de parties de produits complexes relevant de développements réalisés par des projets différents.

Observons d'ailleurs que cette perspective revient à mettre en position amont de tout projet, conformément aux enseignements de l'ingénierie des systèmes, les besoins opérationnels tant du système-produit (l'infrastructure à construire) que du système-service (fournir un service en s'appuyant sur le système-produit). Une telle vision met ipso facto en cohérence les modèles d'informations des patrimoines et des projets comme il est envisagé dans la norme ISO 19650.

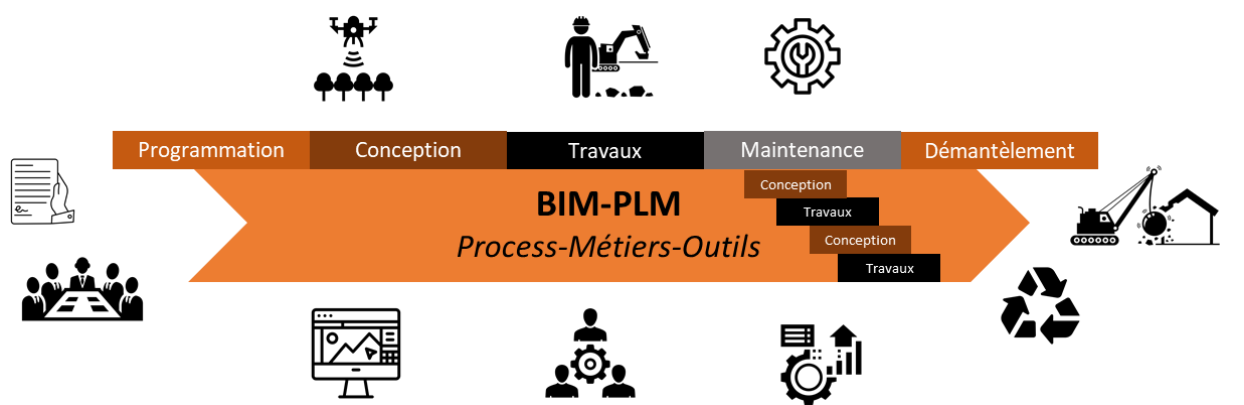


Fig 1. Des projets complexes sur un temps long

**Une interopérabilité nécessaire**  
 Se pose alors la compatibilité des données dans le temps et leur interopérabilité, la mise à jour des logiciels et des systèmes d'information de tous les acteurs, et notamment de l'exploitant mainteneur.

**Norme ISO 19650**  
 La norme ISO 19650 aborde ce sujet par l'intermédiaire des ECD (Environnement Commun des Données). L'ECD est essentiel pour garantir la qualité de l'information et l'organisation des travaux collaboratifs. Cet environnement sert à gérer les trois états d'informations utilisés : travaux en cours, partagés et publiés. Un registre de toutes les transactions d'informations (états, statuts, révisions, approbation...) est tenu à jour, en utilisant l'état archive. Il importe d'y inclure aussi les données d'exploitation et de maintenance.

**Environnement commun des données**  
 Le contenu de l'environnement commun de données ne se limite donc pas aux maquettes numériques, il comprend également l'ensemble de la documentation et des livrables classiques du projet (pièces graphiques, pièces écrites, pièces administratives). La centralisation des échanges est indispensable au bon déroulement du processus BIM, c'est pour cela que l'ECD devra regrouper à la fois le système de gestion électronique de documents (GED) mais également la plateforme

### Des nouvelles fonctionnalités

collaborative de visualisation et de compilation de l'ensemble des maquettes numériques du projet et de leurs données associées.

Des outils de suivi de versions, de partage, de téléchargement, de création de workflows ainsi que de gestion des droits d'accès utilisateurs viendront enrichir les fonctionnalités de cet environnement informatique.

De même, l'ECD intègrera un outil collaboratif d'ajout de commentaires et de partage de points de vue sur les maquettes numériques. Les informations produites seront structurées et organisées pour répondre aux objectifs du projet, accessibles et mises à jour tout au long du cycle de vie d'un actif.

Le

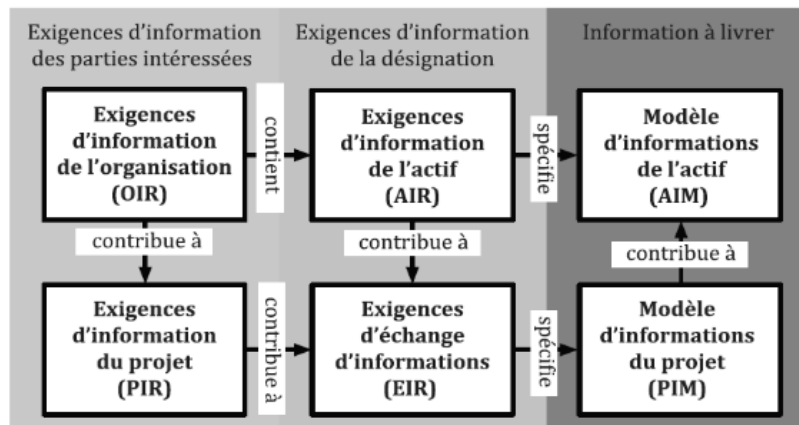


Fig 2. Norme ISO 19650 : Les différents types d'exigences d'information

N'est-il alors pas pertinent de **se poser la question des correspondances possibles entre cet environnement de données** décrit précédemment et les **promesses des solutions de PLM, Product Life Cycle management** ?

### Product Life Cycle management : définitions

Le Product Life-cycle Management est une démarche méthodique dans l'entreprise étendue visant à intégrer toutes les activités techniques de conception et de fabrication autour du produit et de ses processus d'ingénierie et de production, tout au long de son cycle de vie : spécification, définition, industrialisation, maintien en condition opérationnelle, retrait ou démantèlement. (*source association PLM Lab et Centrale Supélec Paris / <https://www.plmlab.fr/>*)

Le PLM est une approche et un système pour gérer les données « produit et process » sur l'ensemble de leur cycle de vie :

- comme système, il touche les hommes, les processus, l'organisation, les applications du système d'information ;
- il recouvre les fonctions de création des données produit (CAO, documents) et est centré sur leur gestion (gestion des données techniques, gestion documentaire), leur partage et validation (outils collaboratifs et d'automatisation des processus et workflows). Il s'étend à l'usine numérique et la gestion du portefeuille de projets ou produits ;
- la notion de cycle de vie recouvre toutes les étapes de la vie du produit, de sa conception (exigences, spécification, R&D), jusqu'à sa fin de vie (démantèlement, recyclage), en passant par le développement, l'industrialisation, la production, la vie opérationnelle (maintenance/maintien en condition opérationnelle, services). (*Réf. Le projet PLM par l'expérience Denis Debaecker*).

### Un processus qui a fait ses preuves

Le PLM est de plus en plus utilisé dans l'industrie manufacturière qui développe et vend de nombreux produits, chacun organisé le plus souvent en gamme de modèles, de versions et d'améliorations.

Le PLM consiste donc en la mise en place d'un processus, de concepts, d'outils visant le management d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie (de sa conception à sa fin de vie en passant par son industrialisation). Cette méthode de gestion est notamment utilisée depuis les années 1990 dans les industries de hautes technologies, et le plus souvent couplée avec des outils de CAO (Conception Assistée par Ordinateur). Les secteurs de l'aéronautique ou de l'automobile ont ainsi appris à collaborer autour de maquettes numériques en s'appuyant sur des solutions PLM développées pour ces industries.

### Du produit vers le projet

La vision précédemment explicitée, quant à la problématique des infrastructures se développant en de multiples projets, est finalement proche de la vision industrielle si l'on veut bien associer un sens particulier à la notion de produit dans la définition précédente.

Il est donc raisonnable de faire l'hypothèse selon laquelle le PLM, même s'il est actuellement essentiellement développé pour les industries, constitue une réponse pertinente aux besoins des exploitants mainteneurs des infrastructures.

### De nombreux acteurs

Toutefois, il convient de remarquer que dans le cas d'un industriel, celui-ci est très généralement concepteur et réalisateur de son produit, alors que dans le cas d'une infrastructure, l'opérateur de l'infrastructure voire son propriétaire, n'est pas toujours le même tout au long de son exploitation et n'est pas non plus ni le concepteur ni le constructeur sauf exceptions de certains grands projets entrepris en PPP ou en concession, et encore, même dans un tel cas, il y a toujours un transfert de propriété à la fin de la concession.





## 2.2 Les usages permis par une solution PLM

### La gestion des données

Toute solution PLM peut être en premier niveau assimilée à une GED ou à un SGDT (système de gestion de données techniques), avec une gestion des droits d'accès. On retrouve donc les principes listés ci-après.

### Verrouillage de l'édition

Un utilisateur peut verrouiller un document (action de check out) pour empêcher sa modification par un autre avant qu'il n'ait validé sa propre modification (action de check in)

### Workflow

Il est possible de définir des cycles de validation/relecture pouvant provoquer (ou non) des montées de version automatiques

### Gestion des versions

La traçabilité des modifications est ainsi garantie grâce à l'historique des modifications

### Exemple

Dans le cadre d'une gestion documentaire un document en version B3 à l'état « Validé » :

- Ce document peut afficher dans son historique des versions antérieures la version B1 à l'état « Brouillon » et la version B2 à l'état « Refusé ». Ici on utilise les versions mineures pour suivre le circuit de validation de la version courante ;
- Ce document peut également afficher dans son historique des versions antérieures la version A1 à l'état « Périmé ». Ici on utilise les versions majeures pour suivre l'historique des versions validées

### La gestion de configuration

Toutes les solutions PLM reposent sur le principe de gestion de configuration. On décrit par ce terme une gestion d'arborescences de décomposition de fonctions ou de composants (objets) de types personnalisables (selon les besoins des produits gérés par le PLM) et qui prend en compte tout leur cycle de vie.

Cette décomposition peut supporter des propriétés personnalisées (prix, quantité...). Traditionnellement on identifie une propriété particulière qui est le type de lien, qui permet de qualifier pour quelle raison on associe des objets.

La configuration permet de comprendre ou de connaître :

- de quoi est constitué le produit (pièces mécaniques, électroniques, logiciels, etc.) ;
- quelles fonctions seront réalisées par le produit et avec quels niveaux de performances ;
- comment le produit est fabriqué ;
- comment le produit est mis en œuvre ;
- comment le produit est maintenu.

La connaissance de la configuration d'un système peut même devenir vitale si une entreprise est amenée à délivrer un service plutôt qu'un produit ou est amenée à gérer une très grande diversité de produits.

La connaissance précise de la configuration permet de se prémunir contre d'éventuels problèmes dans l'application des garanties. Par exemple il est possible de

### Suivi de configuration à date

définir précisément la configuration d'une chaussée à entretenir et de comparer cette configuration après les travaux d'entretien.

Cette décomposition peut être suivie dans le temps (configuration à date).

- Exemple de configuration à date dans l'industrie automobile. On peut suivre la composition des équipements de série des modèles de voiture citrono<sup>1</sup> :
  - La citrono pipo base D est composée d'un moteur Super Diesel, de 2 prises USB et du GPS 8' jusqu'au 31/12/2020 et est composée d'un moteur Hyper Diesel, de 3 prises USB et du GPS 10' à partir du 01/01/2021 ;
  - La citrono pipo luxe D est composée d'un moteur Super Diesel, de 2 prises USB et du GPS 10' jusqu'au 31/12/2019 et est composée d'un moteur Hyper Diesel, de 3 prises USB et du GPS 10' à partir du 01/01/2020 ;

### Suivi de configuration à rang

Il est possible de suivre les configurations par modèle/version (configuration à rang)

- Exemple de configuration à rang dans l'industrie Télécom. On peut suivre la composition des caractéristiques de série des modems de l'opérateur Toto
  - La Totobox<sup>2</sup> propose 4 ports 100Mbps de la version 1 à la version 3 ;
  - La Totobox propose 5 ports 1Gbps de la version 4 à la version 5 ;
  - La Totobox propose 6 ports 1Gbps à partir de la version 6 ;

### États, comparaisons et analyses

Cette gestion de configuration permet les sous-fonctionnalités suivantes :

Baseline (ou **état de configuration**) : il est possible de capturer et sauvegarder un instantané d'une configuration à n'importe quel moment

- **Comparaison de configuration** : cela permet par exemple de faire de la comparaison de configurations de fonctions ou d'objets distincts (variantes par exemple) ou d'un même objet ou fonction mais dans le temps
  - Par exemple identifier les différences entre les différentes évolutions de la citrono pipo base D ;
  - Ou identifier les différences entre la citrono pipo base D de 2020 et la citrono pipo luxe D de 2020 ;

Ou encore identifier les différences entre la Totobox 5 et la Totobox 6.

- **Analyse d'impact** : l'utilisation des cas d'emploi (dans quelle configuration est présent un objet) ou la lecture directe des configurations permet d'identifier rapidement toutes les dépendances inter-objets.
  - Par exemple : un défaut a été identifié sur le moteur Super Diesel. Quelles sont les séries de citrono qu'il faut appeler en révision ?

### Configurations associées

Il est possible d'afficher les configurations associées aux objets de la configuration principale, pour avoir une visibilité complète de l'arborescence.

- Par exemple : on peut afficher la décomposition de la citrono pipo et la décomposition du moteur associé.

<sup>1</sup> Nom fictif utilisé pour l'exemple

<sup>2</sup> Nom fictif utilisé pour l'exemple

### Nomenclature et arborescence produit

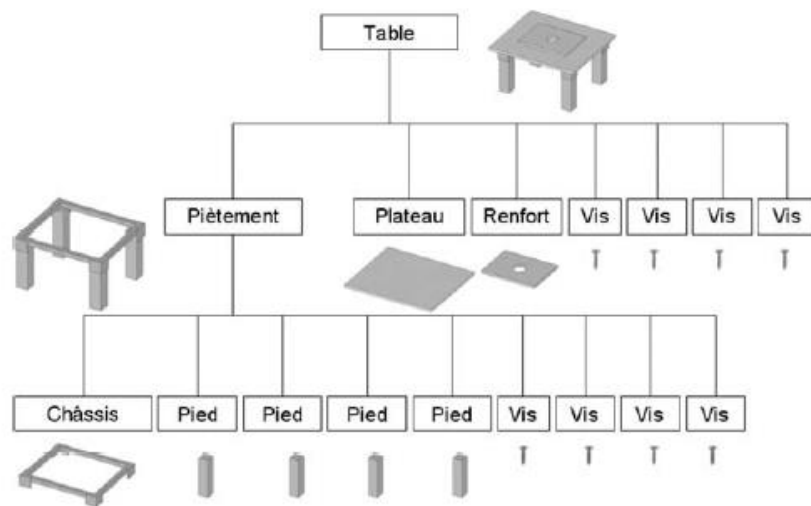
La nomenclature d'un ensemble (système ou sous-système) est la liste des composants le constituant avec leur quantité, en adoptant une règle de décomposition donnée. Seuls les composants du niveau de décomposition retenu seront indiqués dans la nomenclature. Une nomenclature d'un niveau de décomposition est souvent représentée sous la forme d'un tableau (association PLM Lab).

#### cadBOM

Lors de la conception d'un produit il est possible d'extraire une nomenclature appelée cadBOM (CAD Engineering bill of materia) depuis la conception graphique du produit, sous forme d'arborescence de construction.

#### eBOM

La seule représentation graphique d'un produit ne suffit pas à connaître toutes ses caractéristiques de conception. Aussi un produit est alors souvent représenté sous la forme d'un graphe ou d'un arbre, simplifiant la notion de nomenclature qui peut être traduite sur plusieurs niveaux. Lorsque la nomenclature décrit la définition technique de référence du produit. Cet arbre est appelé eBOM (Engineering bill of material). Autrement dit l'eBOM décrit le produit tel que conçu. Exemples courant pour des meubles à monter du commerce :



#### mBOM

Il y a de nombreuses façons de représenter un produit, du point de vue du concepteur (eBOM) et aussi du point de vue constructeur : le mBOM (Manufacturing Bill of materials).

Cette description apporte des informations sur la méthode de fabrication du produit (sites de fabrication, modes d'approvisionnement...) et non plus uniquement la liste des composants qui le compose. Il peut exister plusieurs mBOM (pour décrire différentes variantes de construction par exemple) d'un même produit, rattachés à un seul eBOM.

### Éléments essentiels du système d'informations

Les nomenclatures décrivent tous les éléments qui composent un produit et donnent des indications sur les méthodes de fabrications utilisées, les relations qui existent entre les éléments, tout cela dans le but de faciliter l'accès aux informations pertinentes et d'en faciliter leur utilisation.

### Gestion des nomenclatures dans les solutions PLM

La gestion de version ou la gestion de configuration et ses outils associés (comparaison de configuration, analyse d'impact) peuvent être utilisées pour décrire et analyser une nomenclature (eBOM, mBOM, ou toute autre nomenclature intermédiaire) ou pour décrire et analyser le lien entre 2 nomenclatures (lien eBOM/mBOM ou liens entre mBOM).

Le suivi des modifications peut être utilisé pour suivre les demandes de modifications des mBOM.

### La gestion des exigences

De manière générale, les entreprises utilisent la gestion des exigences pour la gestion des conception et réalisation de leurs produits.

Ainsi, il est possible dans un PLM d'utiliser la gestion de configuration (décomposition par fonctions associées aux objets comme indiqué ci-avant) pour décrire ces exigences et en faire l'analyse d'impact de modifications le cas échéant. Selon les cas cette gestion des exigences peut être entièrement réalisée dans l'outil de PLM ou bien dans un outil externe spécialisé dont les données seront synchronisées dans le PLM.

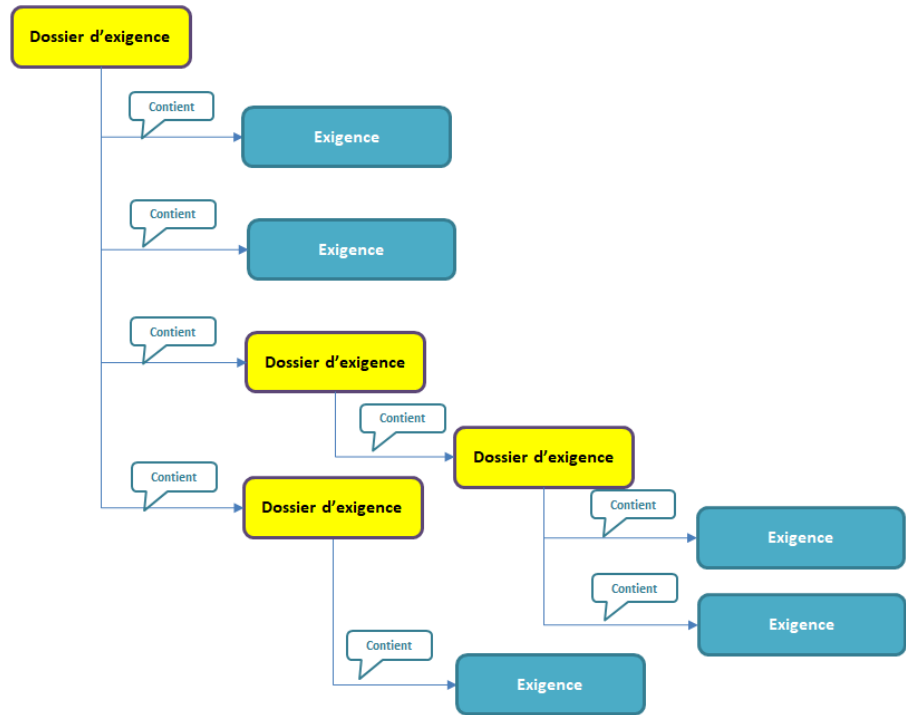
Grâce à la liberté de modélisation offerte par la gestion de configuration des solutions PLM, il est possible de représenter n'importe quel processus métier lié à l'ingénierie des exigences et de les associer en affichage ou en recherche. Il est par exemple possible de chercher tous les produits concernés par une exigence avant de modifier celle-ci ou de lancer des études d'impact ou de créer un processus de déclaration de non-conformité qui permettra de déclarer quelle(s) exigence(s) ne sont pas correctement couvertes lors de la réception d'un produit.

### Arborescence d'exigences

Un premier exemple de configuration possible est celui de « l'arborescence d'exigences ». Cette configuration permet d'organiser les exigences dans des dossiers et sous-dossiers, selon un mécanisme semblable aux classifications de fichiers sous un système d'exploitation.

La symbolique suivante permet de décrire que deux types d'objets du PLM sont associés dans cette application de la gestion de configuration : « Dossier d'exigence » et « Exigence ». Un « Dossier d'exigence » peut alors contenir (type de lien « Contient ») :

- un ou plusieurs autres « Dossier d'exigence » ;
- une ou plusieurs « Exigences ».

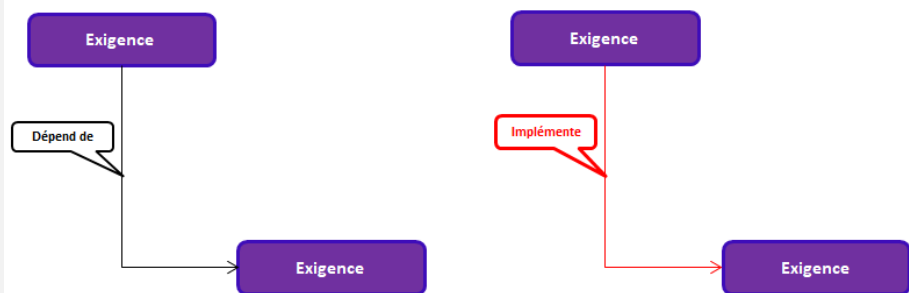


**Liens entre exigences**

Un deuxième exemple de configuration possible est celui du « lien entre exigences ». Cette configuration complète la précédente en permettant de lier entre elles des exigences liées à des fonctions différentes.

La symbolique suivante permet de décrire que seul un type d'objet du PLM est associé dans cette configuration : « Exigence ». Une « Exigence » peut alors être associée à une ou plusieurs autres pour 2 raisons (type de lien) :

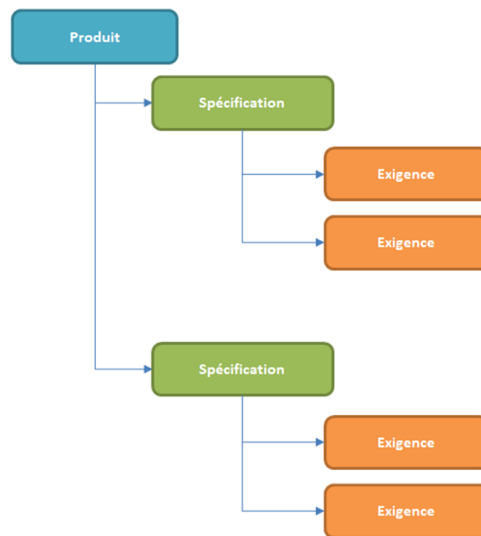
- Dépendance ;
- Implémentation d'une exigence de haut niveau.



### Des exigences aux produits

Le PLM peut alors décrire la spécification d'un produit (la liaison aux exigences) au sein d'une configuration « arborescence produit »

La symbolique suivante permet de décrire qu'un produit peut supporter plusieurs spécifications. Chacune de spécifications comporte plusieurs exigences. On peut envisager chacune de ces spécifications comme des variantes (il existe plusieurs objets « Spécification » distincts reliés au produit à un même instant) ou comme une évolution dans le temps, avec le principe de configuration à date.



### La gestion des modifications

Le processus de suivi des modifications permet d'accompagner la modification tout le long de son cycle de vie, de la demande à son application, au travers des dossiers de modification.

#### Processus de suivi

Le PLM définit la notion de processus de suivi (plus ou moins souple et plus ou moins configurable) permettant de modéliser les étapes menant de la demande de modification à sa mise en œuvre en cas d'acceptation ou à son refus.

#### Demande de modification

Il s'agit du point de départ du processus de suivi des modifications. Un utilisateur propose une modification, qu'elle soit technique ou fonctionnelle qui doit ensuite être instruite au travers d'un circuit de validation de la demande. L'utilisateur peut proposer des solutions dans sa demande. En cas de validation de la demande un ordre de modification doit être émis.

#### Ordre de modification

L'ordre de modification décrit non seulement la modification technique ou fonctionnelle à apporter (et sa cascade éventuelle) mais contient également la liste des documents impactés par la modification.

#### Traçabilité des modifications

L'historique des demandes et des ordres de modification est conservé, ce qui permet notamment de répondre à certaines contraintes réglementaires (RoHS, REACH, ISO 9000...)

#### Notifications des modifications

Les utilisateurs impliqués dans une phase de modification sont automatiquement notifiés des tâches devant être effectuées dans le cadre de cette phase.

<p><b>Procédés unitaires du PLM</b></p> <p><b>Gestion des données techniques</b></p> <p><b>Gestion de configuration</b></p> <p><b>Gestion des exigences</b></p> <p><b>Gestion des modifications</b></p>	<p>Le chapitre précédent peut être résumé dans le tableau ci-dessous des procédés unitaires du PLM selon les regroupements principaux :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gestion des données techniques</li> <li>2. Gestion de configuration</li> <li>3. Gestion des exigences</li> <li>4. Gestion des modifications             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion des versions</li> <li>• Checkin-checkout</li> <li>• Workflow de validation</li> <li>• Décomposition de fonctions</li> <li>• Décomposition de composants</li> <li>• Configuration à date</li> <li>• Configuration à rang</li> <li>• Instantané de configuration (Baseline)</li> <li>• Comparaison de configurations</li> <li>• Analyse de conséquences</li> <li>• Configuration principale + secondaires</li> <li>• Exigences fonctionnelles système</li> <li>• Exigences fonctionnelles composants</li> <li>• Analyse d'impact (capacité dégradée)</li> <li>• Analyse d'impact (défaut, capacité annulée)</li> <li>• Émission du dossier de modification</li> <li>• Suivi du traitement</li> <li>• Résultante</li> </ul> </li> </ol>
---	---

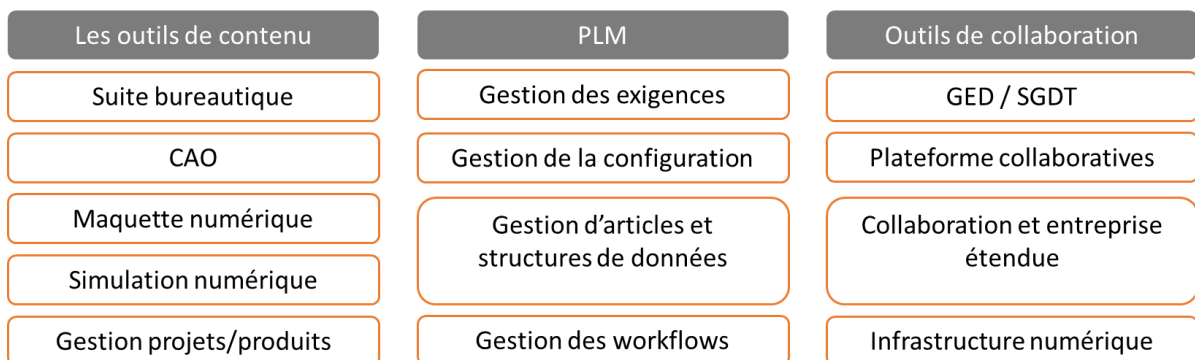


Fig 3. Le PLM : les processus / couverture fonctionnelle

## 3. PRÉSENTATION D'UTILISATION DU PLM

Les solutions PLM sont répandues dans l'industrie manufacturière pour répondre à des objectifs et des usages spécifiques de cette filière. Dans le chapitre 3.1, plusieurs exemples d'applications PLM sont détaillés permettant de mieux comprendre la personnalisation de la méthode en fonction des enjeux et du périmètre choisie par l'entreprise. Cependant la mise en œuvre d'un PLM n'est pas exclusivement réservée aux industries manufacturières orientée « produit » mais aussi applicable pour les ouvrages industriels, avec l'exemple de l'ANDRA (Agence Nationale de gestion des Déchets Radioactifs) et les infrastructures linéaires avec l'exemple de la Société du Grand Paris, ces deux exemples détaillés les chapitres 3.2 et 3.3.

### 3.1 Industrie manufacturière

#### Préambule

Les industries manufacturières sont, selon l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques), des industries de transformation de biens, principalement pour le compte des industries mais elles concernent également la réparation et l'installation d'installations industrielles ainsi que les opérations de sous-traitance pour un troisième contractant. On pourrait également lister les entreprises agroalimentaires, l'industrie textile, l'automobile, les industries aéronautiques, etc. (INSEE, 2017).

Si les industries manufacturières ont bien évolué au cours des derniers siècles, elles ont toujours eu pour objectif de produire beaucoup plus en dépensant moins. En effet, les aspects de développement de produits et de rentabilité sont aujourd'hui étroitement liés au sein de l'industrie manufacturière. Ce lien de causalité se comprend par leur impact direct sur les industriels pour garantir une optimisation financière de leur entreprise. Leur croissance est ralentie car ces industriels sont confrontés à des difficultés liées au contexte professionnel actuel : entreprises étendues, concurrence toujours croissante, mais aussi exigences de nouveaux clients sur les marchés émergents. Pour ce faire, ils trouvent une solution dans le PLM.

#### Le groupe Latécoère

Le groupe Latécoère est un des leaders mondiaux dans le domaine des Aérostructures et des Systèmes d'interconnexion. Ce domaine couvre :

- Les meubles avioniques
- Le câblage de satellite
- Les portes d'avion
- Les harnais électriques

#### Cycle, enjeux et usages

Latécoère a mis en place un PLM dans son service « Design » et « Industrialisation » pour centraliser le suivi de fabrication des structures, y compris les composants et périphériques associés.

Un des enjeux principaux était d'uniformiser les processus de conception, d'industrialisation et de gestion du changement pour tous les clients et filiales (3000 utilisateurs concernés dans une dizaine de pays) tout en assurant une baisse des coûts. Ainsi la gestion des nomenclatures de conception (eBOM) et de fabrication (mBOM) ont été implémentées dans un seul et même PLM.

Des documents 2D et 3D cohabitent dans le PLM.



<p><b>Acteurs</b></p>	<p>Du fait du rôle centralisateur du PLM, les acteurs tant fonctionnels que techniques ont été très variés, qu'ils soient internes ou externes. 6 métiers différents sont intervenus sur le projet, chaque métier étant représenté par 2 utilisateurs-clé tout le long de la mise en place.</p> <p>Dans sa démarche de mise en place d'un PLM Latécoère a été assistée d'une maîtrise d'ouvrage qui est intervenue en phase d'avant-projet et dans le suivi des spécifications.</p>
<p><b>Personnalisation</b></p>	<p>Une forte personnalisation a été effectuée que ce soit au niveau de la définition des objets gérés dans le PLM ou des processus permettant de les orchestrer. Ainsi le processus de suivi des changements a entièrement été développé alors qu'une version de ce processus est disponible avec l'outil de PLM retenu. En effet l'ergonomie de cette version ne répondait pas aux attentes de Latécoère. C'est pour répondre à ces types de situation que l'intervention d'équipes d'intégrateurs rompus au processus PLM s'avère utile : les fonctionnalités de l'outil retenu (quel qu'il soit) peuvent être modifiées ou complétées pour répondre aux besoins exacts.</p>
<p><b>Interfaces avec d'autres progiciels</b></p>	<p>Des interfaces ont également été mises en place pour dialoguer avec des systèmes externes comme SAP ou internes (des reprises de données étaient nécessaires).</p>
<p><b>De nouveaux développements</b></p>	<p>Des développements ont également été menés pour générer les fiches techniques des gammes de fabrication et d'opération pour les systèmes existants.</p>
<p><b>Conduite du changement</b></p>	<p>Afin de juger de la pertinence des objets et des processus implémentés, des indicateurs de retour sur investissement ont été défini lors des phases de spécification. Ces derniers ont montré des pertes de productivité suite à la mise à production du PLM. Une analyse des causes de ces pertes a permis d'identifier que les modes de saisie envisagés ne tenaient pas suffisamment compte des modalités de travail au quotidien qui reposaient dans les faits sur des saisies en masse (inadéquation entre l'ergonomie envisagée et la volumétrie des données). De plus grande possibilités de personnalisation et d'automatisation ont alors été mises en place, ce qui a permis d'atteindre les objectifs envisagés au démarrage du produit.</p> <p>Une analyse rétrospective des raisons ayant conduit à ces difficultés de démarrage semble indiquer que l'approche design-to-cost initiale n'était pas adaptée.</p>
<p><b>Thales Alenia Space</b></p>	
<p><b>Cycle, enjeux et usages</b></p>	<p>Thales Alenia Space a mis en place un PLM dans le cadre de la création des modèles 3D de satellites de télécommunication.</p> <p>Le PLM a été mise en place pour normaliser ses différents processus d'ingénierie mécanique et améliorer la collaboration en temps réel. Ainsi il est attendu des gains de productivité (délais de développements réduits) accompagnés de gains qualitatifs. Cet environnement collaboratif et la mise à dispositions de tous de données fraîches ne devaient pas mettre en péril la protection de ces dernières</p>
<p><b>Acteurs</b></p>	<p>1000 utilisateurs français et italiens, issus de différents sites, collaborent sur la plateforme. Ces utilisateurs sont issus de domaines métier différents comme le monde de la propulsion, des structures d'antennes optiques, des équipements...</p>

<p><b>Aspects contractuels</b></p>	<p>Le projet est dans le domaine du « Confidentiel Défense ». Cela implique donc une gestion de la classification et de la protection des informations ou supports :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Au niveau des développements et paramétrages,</li> <li>• Au niveau de l'utilisation en tant que telle.</li> </ul> <p>Néanmoins le projet est transnational (utilisateurs français et italiens) : un des rôles du PLM est donc de résoudre les problèmes de collaboration potentiels (réglementation, culture d'entreprise...) en respectant également les règles liées au « Confidentiel Défense ».</p>
<p><b>CEA</b></p> <p><b>Cycle, enjeux et usages</b></p> <p><b>Acteurs</b></p> <p><b>Personnalisation</b></p> <p><b>Aspects contractuels</b></p>	<p>Le CEA/DAM (Direction des Applications Militaires) a rénové et centralisé ses applications de suivi de fabrication de produits dans la sphère du militaire.</p> <p>Le PLM qui a été déployé permet de gérer l'ensemble des activités sur les produits et composants associés, de la production au démantèlement en passant par la maintenance.</p> <p>Du fait du domaine d'activité du CEA/DAM, la gestion de la confidentialité des données est un enjeu majeur du projet.</p> <p>300 utilisateurs de différents centres collaborent via le PLM.</p> <p>Une reprise de données hétérogènes de 4 centres a été effectuée. Les modèles de données, cycles de vie et règles fonctionnelles ont été définies dans le PLM :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion de plusieurs nomenclatures produits (BOM – Bill Of Material),</li> <li>• Gestion des modifications,</li> <li>• Suivi des pièces,</li> <li>• Gestion de production et analyse d'impacts (anomalies, faits techniques, qualification...)</li> </ul> <p>Le cycle de vie des produits gérés par le PLM est long (une trentaine d'années).</p>

## 3.2 Ouvrages industriels

### ANDRA

#### Projet CIGEO

Le projet Cigéo a pour finalité la conception et la réalisation de l'installation nucléaire de base (INB) de stockage réversible des déchets radioactifs à haute activité (HA) ou moyenne activité vie longue (MA-VL) issus des activités de production électronucléaire, de recherche et de la défense nationale.

#### Objectifs de haut niveau

Dans le cadre du programme Cigéo, l'agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a pour missions de garantir :

- la pérennité des modèles et résultats issus des phases d'ingénierie système du programme Cigéo,
- la pérennité des données techniques et documentaires caractérisant les constituants du système Cigéo, et ce, tout au long de son cycle de vie. Cet objectif est atteint via la définition et la conception d'un système d'information réunissant des fonctionnalités d'ingénierie système et des fonctionnalités de gestion de produits (PLM).
- si nécessaire, sa capacité à fournir les preuves demandées par les instances réglementaires quant à des choix de conception, de réalisation, de déploiement. Ces preuves sont rendues possibles par la mise en place de processus de justification et de traçabilité des choix réalisés durant les phases amont du cycle de vie du programme.

La tenue de ces objectifs repose sur l'intégration des méthodologies et technologies d'ingénierie pilotée par les modèles (ou MBSE : Model Based Systems Engineering), la conception de maquettes numériques BIM et les concepts et solutions de PLM.

#### Besoins et usages

À ce titre l'Andra exploite une solution PLM spécifique pour les phases d'avant-projet sommaire et détaillé devant mener à la réalisation de ce site de stockage pour :

5. tracer et gérer les montées de version des documents de conception (qu'ils soient produits par l'Andra ou reçus des sous-systémiers) avec des workflows de relecture personnalisés,
6. décrire la structuration du site au sein d'une arborescence produit dont les utilisateurs peuvent suivre les évolutions,
7. décrire les exigences à respecter dont les utilisateurs peuvent suivre les évolutions,
8. effectuer le suivi des non-conformités par rapport à ces exigences et des dérogations éventuelles,
9. effectuer le contrôle de conformité des maquettes CAO reçues,
10. afficher les maquettes BIM reçues dans l'arborescence produit, éventuellement de manière consolidée,
11. diffuser de manière sécurisée et contrôlée des informations, que ce soit à des utilisateurs connus du PLM ou non.

<p><b>Structuration du BIM</b></p>	<p>En parallèle de son approche PLM, l'Andra a réalisé une base de données BIM de synthèse générale de l'ensemble des études (de niveau APD) produites par les différents groupements de maîtrise d'œuvre sur les divers corps de métiers impliqués sur l'intégralité du site (env. 100km<sup>2</sup>) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Topographie et terrassements de surface,</li> <li>• Insertion paysagère (et acceptabilité),</li> <li>• VRD et aménagements du site,</li> <li>• Voie ferrée, son raccordement, avec son système ferroviaire et ses quais,</li> <li>• Installations d'exploitation (bâtiments techniques) de surface,</li> <li>• Bâtiments tertiaires,</li> <li>• Génie civil de réalisation de la descenderie (3km, -500m),</li> <li>• Génie civil de réalisation des puits en grande profondeur,</li> <li>• Génie civil de réalisation des galeries (env. 90km) et des alvéoles (env. 2.000),</li> <li>• Système de gestion du funiculaire de descenderie,</li> <li>• Système de transport guidé des colis,</li> <li>• Système de mise en place en alvéoles de stockage.</li> </ul>
<p><b>Informations portées par le BIM</b></p>	<p>Cette base de données BIM géolocalisée est structurée en un ensemble hiérarchisé de classes d'entités (env. 165 000 occurrences), qui représentent les divers ouvrages et équipements du projet, et qui portent des informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• d'identification unique,</li> <li>• de positionnement absolu (sursol / sous-sol),</li> <li>• de géométries,</li> <li>• de caractéristiques de structure,</li> <li>• de spécifications fonctionnelles nominales.</li> </ul>
<p><b>Liens configuration et BIM</b></p>	<p>Pour en démontrer la valeur sur ses opérations, l'Andra a souhaité associer, de façon bijective, un lien logique entre ces différentes classes d'objets BIM et les configurations gérées en PLM.</p> <p>Ainsi est-il possible depuis le PLM d'accéder aux divers objets qui composent une configuration particulière du projet, ainsi que depuis la base des objets du modèle BIM d'accéder aux documents gérés dans le PLM qui les caractérisent.</p>
<p><b>Acteurs</b></p>	<p>A ce jour l'Andra n'ouvre pas directement son PLM à des contributeurs externes : toutes les opérations de saisie sont effectuées par les équipes internes (gestion documentaire, gestion de la maquette numérique, gestion de projet, gestion de configuration...) de manière manuelle ou par import de fichiers normalisés fournis par les sous-systémiers.</p>
<p><b>Personnalisation</b></p>	<p>Une forte personnalisation a été effectuée que ce soit au niveau de la définition des objets gérés dans le PLM (documents, objets de configuration, exigence) ou des processus permettant de les orchestrer (processus de relecture documentaire, de suivi des non-conformités...).</p> <p>Le PLM est constamment paramétré et adapté pour suivre au mieux les processus en vigueur à l'Andra.</p>
<p><b>Aspects contractuels</b></p>	<p>Le PLM est le référentiel concernant les documents validés dans la phase d'Avant-Projet Détaillé.</p>

### 3.3 Infrastructure linéaire

#### Grand Paris Express

##### Missions de la SGP

Le « Grand Paris Express » consiste en la construction en 15 ans environ de 200 km de lignes de métro automatique nouvelles en Ile de France (soit un quasi doublement du réseau actuel). Ce projet est le plus gros projet urbain d'Europe et s'inscrit dans un projet plus vaste de développement économique et social en Ile de France.

Au titre de la construction de ce nouveau réseau, la Société du Grand Paris (SGP) est en charge :

- de réaliser et concevoir les 4 nouvelles lignes de métro,
- de réaliser et concevoir les 68 nouvelles gares de ce réseau,
- de participer à la modernisation du réseau existant et à l'extension des lignes existantes,
- d'acquérir le matériel roulant compatible avec ce nouveau réseau.

Du fait de la dimension du réseau, du nombre d'ouvrages (gares et ouvrages annexes) et de l'ouverture progressive du réseau (entre 2024 et 2030), la conception et la réalisation des différents éléments sont découpées en différents « tronçons » et marchés pour lesquels la maîtrise d'œuvre (MOE) et l'assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMOA) sont confiées à des intervenants différents désignés suite à des procédures d'appels d'offre.

##### Objectifs de haut niveau du PLM

La SGP coordonne la conception de ces équipements au sein d'une solution de gestion de produits (PLM) dans laquelle elle intègre notamment les maquettes numériques conçues selon les méthodes BIM.

À ce titre la SGP exploite et met à disposition des titulaires de lots une solution PLM pour les phases de conception et réalisation :

- tracer et gérer les montées de version des documents de conception (qu'ils soient produits par la SGP ou reçus des sous-systémiers) avec des workflows de relecture personnalisés,
- décrire la structuration (par ligne) de chaque gare au sein d'une arborescence bâtiments/systèmes/équipements dont les utilisateurs peuvent suivre l'évolution dans le temps ou en variante (notion de configuration de référence),
  - En phase de spécification,
  - En phase de conception,
  - En phase de réalisation,
- effectuer le contrôle de conformité des maquettes BIM reçues par rapport aux configurations attendues,
- afficher les maquettes BIM reçues dans l'arborescence bâtiments/systèmes/équipements localisés,
- diffuser de manière sécurisée et contrôlée des informations, que ce soit à des utilisateurs connus du PLM ou non.

#### Acteurs

En plus de donner accès à ses propres utilisateurs (gestion documentaire, cellule BIM...) la SGP a directement ouvert le PLM à ses différents sous-systémiers qui peuvent directement effectuer leurs saisies.

#### Personnalisation

Les modèles de données (documents, pièces graphiques, équipements...) et processus associés (relecture, suivi des configurations dans le temps...) ont été paramétrés de manière très fine en concordance avec les besoins de la SGP.

#### Aspects contractuels

Du fait de l'ouverture directe du PLM aux différents interlocuteurs de la SGP, le PLM sert de plateforme contractuelle de dépôt de documents et de maquettes, notamment pour constituer le DOE numérique.

## 4. SE PRÉPARER À APPLIQUER LE PLM AUX INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

### Préambule

Comme il a été exposé précédemment par les divers exemples venant de l'industrie, l'implantation d'un PLM est chose complexe. Cela demande des études soignées avec les utilisateurs pour préciser notamment les ambitions et les niveaux de détails attendus et dimensionner les paramétrages et personnalisations nécessaires.

Le respect des objectifs, le niveau de compétences et de maturité des équipes dans la transformation numérique ne sont pas à négliger pour assurer l'adhésion des personnels à des processus conformes et utiles.

### 4.1 Contexte et besoins spécifiques des infrastructures

#### Bien connaître son infrastructure

L'exploitant d'une infrastructure existante doit renouveler ou augmenter les capacités de son infrastructure par autant de projets individuels et de réalisation d'infrastructures partielles. De multiples intervenants se succèdent sur un temps long, utilisant des méthodes et des outils parfois complexes. La connaissance de l'infrastructure et de ses évolutions est primordiale et doit être tracée et sauvegardée au fil de l'eau. Dans ces conditions, il convient de réorganiser différemment le cycle de vie d'une infrastructure et prendre en compte ces besoins spécifiques détaillés dans ce chapitre.

#### Un cycle de vie complexe

#### Exploitation maintenance

L'infrastructure existe et elle dispose de son propre patrimoine technique. Elle est bien entendu opérée et maintenue en condition opérationnelle. Il y a prise en compte de données d'exploitation et de maintenance collectées et analysées en permanence.

#### Nouveaux projets

L'exploitant ou le propriétaire est conduit à mener des projets de rénovation ou des projets nouveaux d'extension pour :

- Suivre les évolutions du marché ou des capacités qui lui sont demandées,
- Suivre l'évolution des performances et des technologies à disposition,
- Offrir toujours une meilleure qualité de services, pour remplacer les installations frappées d'obsolescence.

Ces différents projets suivent bien entendu les cycles habituels des projets à savoir : programmation, conception, construction, livraison avant d'être opérés et maintenus dans le grand ensemble auquel ils appartiennent.

<b>Programmation</b>	Celle-ci consiste, à collecter et à renseigner l'ensemble des besoins de l'exploitant, du maître d'ouvrage et des tiers impactés par le nouvel ouvrage envisagé que ceux-ci soient des personnes physiques ou morales en charge d'intérêts d'ordre général (environnement, santé, sécurité, gestion des eaux etc.).
<b>Conception</b>	Il s'agit classiquement de développer une ou des solutions possibles aux besoins exprimés tant de façon fonctionnelle (la vision théorique du fonctionnement de l'ouvrage pour répondre aux besoins) qu'organique (la réalisation concrète).
<b>Construction</b>	C'est la phase de réalisation concrète de l'ouvrage, de l'intégration progressive de ses composants au fur et à mesure de leur construction en un seul ouvrage répondant à l'ensemble des exigences et performances attendues. Cette phase se clôt par la formation des exploitants puis par la livraison de l'ouvrage fonctionnel et complet entre leurs mains.
<b>Maintien et suivi</b>	Un nouveau cycle d'exploitation maintenance commence, avec la prise en compte des modifications réalisées.

<b>Démantèlement</b>	En fin de vie, l'infrastructure, en tout ou en partie, doit être démantelée et les espaces occupés rendus dans un état compatible avec l'environnement naturel ou anthropique souhaité.
----------------------	---

Les processus mis en œuvre tout au long du cycle de vie d'une infrastructure sont nombreux et font intervenir d'innombrables métiers et outils. Toutes les données produites évoluent sur un temps long et doivent être facilement consultables. Un outil PLM devra tenir compte de ces caractéristiques. Il devra être accessible, fiable et pérenne dans le temps.

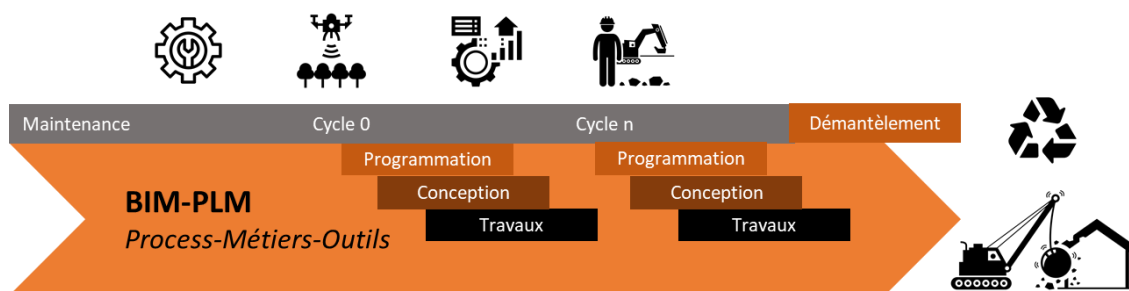


Fig 4. Cycle de vie exploitation-maintenance



## Interopérabilité

### Échanger et communiquer

Une des notions-clefs communes entre PLM et BIM est la collaboration d'acteurs provenant d'horizons divers autour d'un même produit, d'un même projet, d'une même maquette. Pour travailler de manière optimale, chacun de ces acteurs métier doit pouvoir disposer d'outils de conception diversifiés. L'enjeu sera donc de faire communiquer l'ensemble de ces outils et d'utiliser des logiciels ou formats de données interopérables.

L'interopérabilité suppose 3 grandes opérations :

- Communiquer et échanger les informations,
- Utiliser les informations échangées,
- Utiliser les fonctionnalités d'un système tiers.

### Une multitude d'acteurs

Du fait des remarques exposées en préambule, cette exigence d'interopérabilité est très large et très profonde. En effet l'opérateur peut être à la fois multiple sur un temps très long y inclus changement d'opérateur-propriétaire. Il peut être au même moment ou multiple dans l'espace, si par exemple un même réseau est découpé en plusieurs acteurs.

### Domaines et concepts

Elle doit faire face à plusieurs domaines techniques, objets de normes différentes dont le développement dépend souvent des forces propres à chacun de ces domaines industriels. En particulier, elle doit traiter a minima des concepts différents développés dans le domaine de la construction (domaine privilégié des IFC) et dans celui des aménagements des territoires et des villes (domaine des SIG), ainsi que des domaines émergents comme ceux liés à l'environnement ou à la biosphère.

### IFC

Le format IFC d'échange standardisé convient bien pour décrire les infrastructures. Il est en cours d'extensions vers de nouveaux domaines des infrastructures (tunnels, ports, etc.). Ce format intègre le géoréférencement, les descriptions géométriques des objets (explicites et procédurales). Il est donc adapté à la vision organique et il traite des perspectives fonctionnelles, principalement par le biais des propriétés associées. Il permet de couvrir en partie les perspectives opérationnelles ou du système-services ou du système-projet.

### Les méthodes

En informatique, différentes méthodes sont couramment utilisées pour rendre interopérable des systèmes entre eux. Par ordre de flexibilité croissant, on peut citer par exemple :

- Une architecture d'intégration d'applications d'entreprise (EAI),
- Une architecture orienté service avec BUS (ESB).

### Architecture EAI

L'EAI (Enterprise Application Integration) est une plateforme qui permet de réunir les applications existantes d'une entreprise autour d'un moteur d'intégration d'application commun, le middleware, qui se charge des échanges de données entre-elles. L'EAI permet de fédérer des applications qui n'avaient pas été conçues pour dialoguer entre-elles, limite le nombre des interfaces et facilite l'évolution du système.

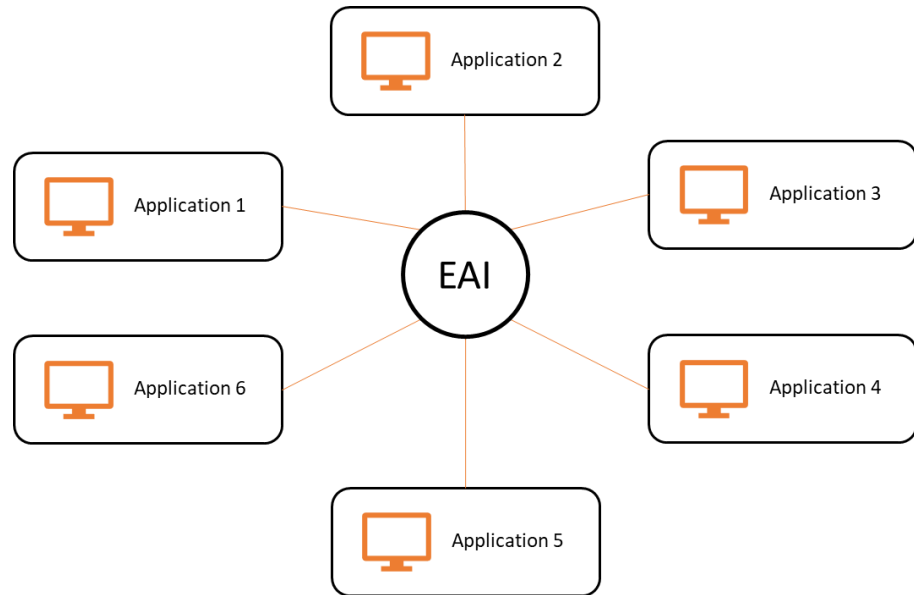


Fig 5. Architecture EAI

**Architecture ESB**

ESB (Enterprise Service Bus) est une génération d'intégration d'applications récente, héritière de l'EAI. Un ESB est construit sur des standards ouverts tels que le protocole XML et les services web. L'ESB n'intervient plus directement dans les applications du système mais essentiellement via des modules de web services au sein de chacune d'entre elles. L'ensemble de ces modules de service est ensuite dirigé et partagé vers un flux central où les échanges sont assurés : le Bus applicatif.

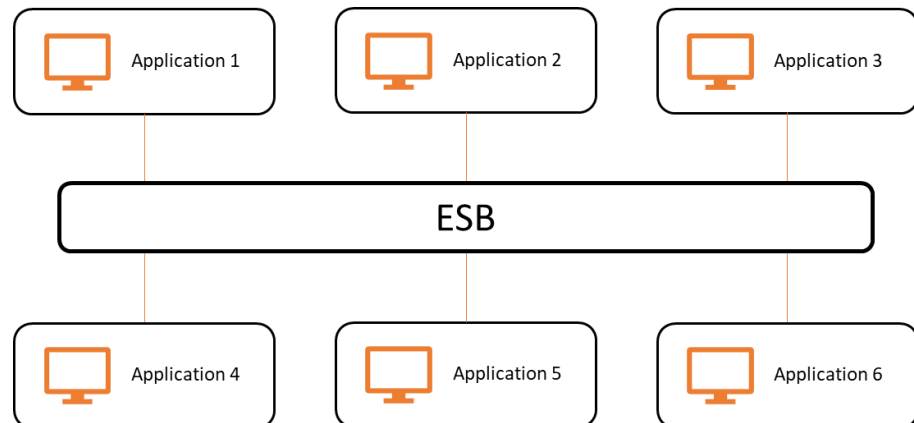


Fig 6. Architecture ESB

Il est alors attendu, dans une vision BIM/PLM, qu'une plateforme PLM permette à minima l'exploitation de formats non-propriétaires comme l'IFC, garantisse l'interopérabilité avec des systèmes externes et puisse s'intégrer dans une architecture de type ESB. L'objectif est bien d'assurer la continuité des données tout au long du projet.

### La reprise de l'existant

#### La connaissance des informations

La reprise de l'existant est une question importante dans un projet de déploiement d'une solution PLM à une infrastructure. Il s'agit de bien identifier et de formaliser les informations et les données qui alimenteront les outils du PLM. Il faut donc au préalable recueillir auprès de tous les acteurs ces informations.

#### Le savoir-faire

Au sein d'une entreprise, la connaissance dite tacite est la plus répandue, sans doute encore plus dans le domaine des infrastructures. La connaissance tacite est la connaissance que possèdent les individus. Elle n'est pas formalisée et difficilement transmissible. Ce sont les compétences, les expériences, l'intuition, les secrets de métiers et les tours de mains qu'un individu a acquis à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise.

#### Les savoirs de l'entreprise

La connaissance formalisée et transmissible sous forme de documents réutilisables est dite explicite. Ce sont tous les documents et informations récoltés au fil de l'eau et qui peuvent être partagés par un système d'information. Cela peut-être un serveur, un espace documentaire ou un disque dur d'un collaborateur.

#### La capitalisation des connaissances

Il ne suffit pas d'identifier les savoirs existants, ni de les qualifier, mais bien de les stocker et d'y avoir accès facilement.

La valorisation des données et des connaissances est indispensable au bon suivi d'une infrastructure. Un management de ces connaissances doit être organisé pour en assurer la préservation et leur actualisation. L'objectif étant de disposer des connaissances cruciales et nécessaires au maintien en condition opérationnelle de l'infrastructure.

Il existe une quantité importante d'informations au sein des entreprises, identifiée le plus souvent mais rarement centralisée et stockée de façon pérenne. Toutes ces données et toute cette connaissance doivent être recueillies et qualifiées pour pouvoir être ensuite valorisées.

**Les fonctionnalités embarquées par un outil PLM ne permettraient-elle pas de capitaliser les connaissances et le savoir-faire de l'entreprise ?**

La gestion de l'information

**Maturité des systèmes**

Les recommandations décrites dans la norme ISO19650 notamment sur la gestion de l'information doivent être prises en compte. Il faut y ajouter la prise en compte des données d'exploitation, de fonctionnement et de maintenance faisant partie de « l'Information de l'actif ».

En effet, les évolutions technologiques, l'apparition de nouvelles normes et la capacité des acteurs à s'adapter conduisent à définir des stades de maturité dont le stade 2 semble être le minimum requis pour déployer un système d'informations opérationnel et efficace.

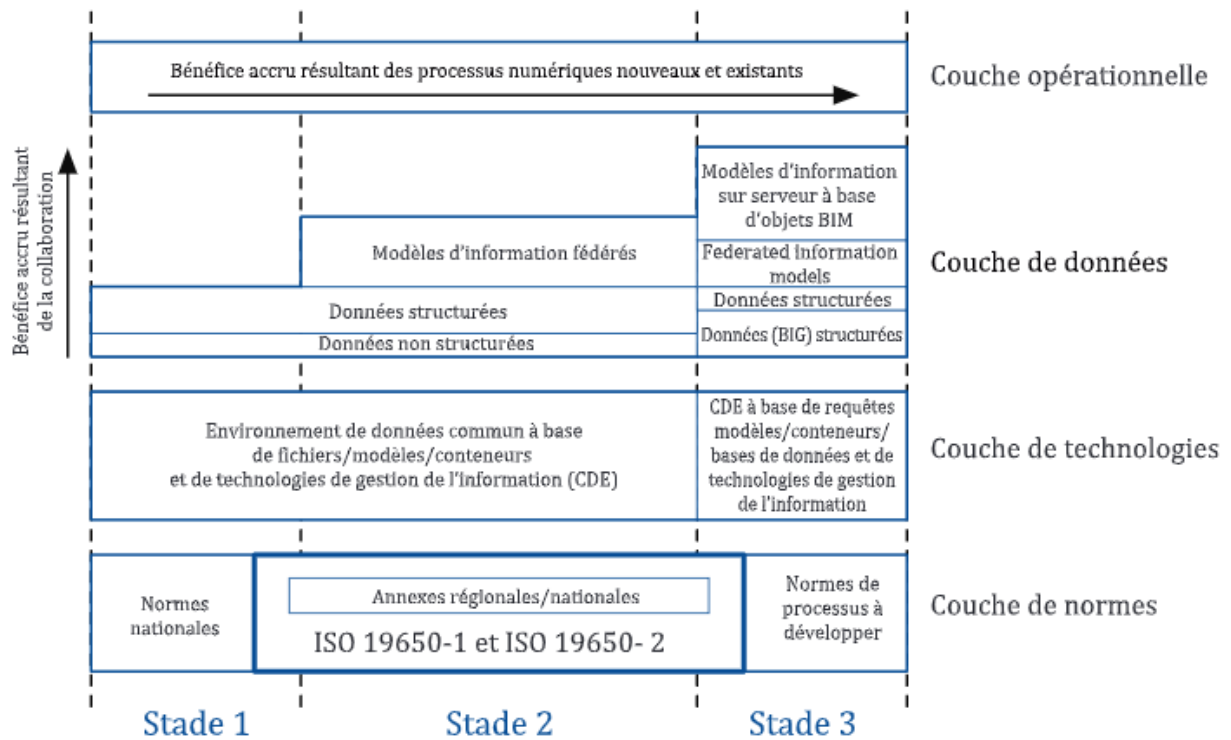


Fig 7. Norme iso19650 : Perspective des stades de maturité de la gestion des informations analogiques et numériques

**Le stade 2 appelé BIM** selon la norme ISO19650 semble être le premier stade compatible avec les outils PLM. Quant à lui, le stade 3 ne serait-il pas celui du **BIM-PLM avec l'automatisation des processus** et le partage d'une information structurée et fiabilisée entre tous les intervenants de l'infrastructure ?

## 4.2 Complémentarité et apports du PLM

Les outils PLM ne sont pas les seuls éléments développés dans le domaine de l'ingénierie numérique. D'autres outils, d'autres concepts, d'autres méthodes voire de nouveaux paradigmes apparaissent ou se transforment. Il est important alors de positionner le PLM vis-à-vis des plus essentiels d'entre eux. Seront ainsi successivement examinés :

- le Building Information Modeling (BIM), les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ;
- la gestion électronique de documents (GED) ;
- la Gestion Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) et les Enterprise Resource Planning (ERP) ;
- l'environnement commun de données (ECD) ;
- les plateformes collaboratives,
- le jumeau numérique (JN).

### BIM

Le BIM permet la collaboration de différents acteurs d'un projet autour d'une maquette numérique 3D. Il est ainsi possible de visualiser les objets dès la phase conception et d'en assurer le suivi tout au long de la phase de réalisation et de transmettre un récolement numérique « tel-que-construit » à l'exploitant mainteneur. Cette maquette numérique est sémantisée et complétée par de la documentation.

### Processus centralisé sur une maquette numérique

Le processus et les outils BIM sont donc centralisés sur la maquette numérique et doivent faire appel à d'autres outils pour gérer par exemple la documentation associée et le contrôle des états et des versions des documents produits.

Le processus BIM est appliqué sur des opérations dont les objets sont uniques, en interface avec d'autres systèmes et amenés à évoluer tout au long du cycle de vie de l'ouvrage dans son entier. Les objets génériques existent mais ne sont que très rarement l'ouvrage fini en tant que tel.

### Différences BIM/PLM

L'approche PLM-BIM permettrait d'industrialiser le processus BIM dans le sens où la formalisation des échanges seraient tracée sur toute la durée du projet sans pour autant passer par la maquette numérique.

Si BIM et PLM soutiennent la gestion de cycle de vie de produit, il s'agit de deux processus différents. Ils se rejoignent et diffèrent sur plusieurs points.

### La maquette numérique

La maquette numérique BIM, focalisée sur la dimension organique, est une des briques-clé pour permettre la collaboration des différents acteurs mais elle a besoin d'une solution complémentaire pour assurer une bonne gestion du cycle de vie du projet/ouvrage. En effet bien que la maquette numérique BIM couvre le cycle de vie d'un ouvrage, il ne fait pas la gestion de celui-ci, contrairement au PLM (Product Life cycle Management).

- Le BIM se focalise sur les fonctions de visualisation, les calculs des propriétés, la vérification des interactions entre les différents éléments. Il ne traite pas la gestion des documents ni le contrôle des états et des versions de ces derniers.
- Le PLM formalise les processus de validation, d'échange, de modification alors que le BIM est plus une copie nominale qu'on essaye de maintenir.

**Modèles collaboratifs**

Le but de la collaboration BIM autour des IFC est de standardiser les modèles de données de construction. C'est pourquoi l'objectif des initiatives à terme est d'avoir un modèle IFC pour chaque ouvrage existant. Ceci va permettre une interopérabilité générale entre tous les acteurs de construction. Ce n'est pas le cas avec le PLM où les formats STEP sont définis entre deux outils. Et même dans un domaine précis tel que l'automobile, il n'existe pas d'initiatives de standardisation de données.

**Complémentarité BIM/PLM**

Le PLM est un outil de gestion du cycle de vie d'un produit. Le BIM est un processus collaboratif qui permet l'interopérabilité entre les différents logiciels de modélisation grâce aux IFC.

En ce sens, le BIM ne permet pas en soi la gestion du cycle de vie d'un ouvrage ou d'une infrastructure.

Le BIM est un outil permettant de visualiser un ouvrage à un instant donnée, tandis que le PLM permet de connaître la nature et la date des modifications apportées à cet ouvrage. L'association de ces deux outils complémentaires permettrait une gestion complète de l'infrastructure sur l'ensemble de son cycle de vie. Par exemple un fichier IFC importé dans le PLM pourra générer « l'ensemble des arborescences et des objets techniques au sens PLM ». Le fichier IFC sera mis à jour à travers les modifications opérées dans le PLM.

**SIG**

Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (*Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989*).

**Géoréférencement des données**

Processus qui consiste à établir les coordonnées géographiques x et y, c'est-à-dire la position exacte en latitude et en longitude d'un objet géographique sur une carte, en fonction d'un système de référence spatial. Le géoréférencement est indispensable pour caler des couches d'information ou pour superposer de nouvelles données.

**Structuration des données**

Les données sont stockées soit sous un format vectoriel, soit sous un format raster. Ces données sont complétées par des informations attributaires et organisées par couches. Cela permet d'effectuer des requêtes et de réaliser rapidement des cartes thématiques.

**Liens avec les bases de données**

Les SIG offrent toutes les possibilités des bases de données (telles que requêtes et analyses statistiques) et ce, au travers d'une visualisation unique et d'analyse géographique propres aux cartes. Ces capacités spécifiques font du SIG un outil unique, accessible à un public très large et s'adressant à une très grande variété d'applications.

### Un outil opérationnel pour les gestionnaires de voiries

Parmi les administrations françaises disposant d'une compétence routière, les SIG sont principalement utilisés par les Conseils Départementaux, en particulier leurs Directions des Services (DS). 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, scolaires ou autres, des autorisations de voirie, des plans d'accès, etc.

Le SIG permet aussi de visualiser le patrimoine à l'échelle d'un territoire et les contraintes réglementaires existantes. Il est très utile en phase de programmation pour visualiser l'impact d'une nouvelle infrastructure sur l'existant. Des requêtes sur les bases de données existantes alimentent les études du projet et orientent les décisions.

**PLM et SIG** : La mise en place de Système d'Information Géographique (SIG), couplé au système PLM (avec la prise en compte de la localisation) permettrait d'aborder des problématiques de gestion de patrimoine, de gestion territoriale. L'affichage des données et des documents géolocalisés sur un fond cartographique faciliterait les analyses et améliorerait la compréhension du projet et des contraintes existantes.

## GED

La GED pour Gestion Électronique de Document est une méthode de travail collaboratif qui désigne les processus informatisés mis en place afin de gérer des informations, documents papier et/ou documents électroniques d'une organisation.

Les données et documents en entreprise sont de plus en plus variés. La GED a pour enjeu de prendre en compte cette diversité afin d'améliorer l'accès aux documents pour toute partie prenante. Elle favorise par là même le passage de l'information du support papier au support électronique, et est ainsi supposée diminuer la consommation de papier. La GED consiste en l'acquisition, le traitement, le stockage, la diffusion et la valorisation des documents.

**Le terme GED est également attribué aux logiciels permettant la gestion de ces contenus documentaires.**

### Acquisition des documents

L'acquisition des documents désigne l'ensemble des moyens qui permettent d'intégrer les documents au système de gestion. La numérisation, grâce à des scanners, des documents papiers est un moyen d'acquisition. Cette acquisition peut également se faire en intégrant des documents électroniques déjà existants, pouvant provenir de diverses sources électroniques. Enfin, l'acquisition des documents peut également s'effectuer en produisant des documents électroniques (souvent de façon automatique comme certains rapports de lancement) ou en échangeant des documents avec d'autres organismes.

### Intégration des documents

L'intégration des documents suivants doit être possible :

- Fichiers bureautiques (DOC, XLS, PPT).
- Fichiers PDF.
- Maquettes numériques.
- Plans DAO/CAO (DWG).

Des outils de visualisation sont intégrés et permettent aux utilisateurs de prévisualiser les fichiers avant téléchargement.

**Gestion des documents**

La GED participe aux processus de collaboration, de capitalisation et d'échange d'informations. Elle prend en compte le besoin de gestion des documents selon leur cycle de vie :

- Création.
- Archivage.
- Gestion des versions.

**Workflow de validation**

Quel que soit le moyen par lequel le document intègre le système de gestion, il peut passer par une chaîne de validation pour aboutir à une version finale approuvée par les utilisateurs concernés. Le workflow lié à la validation d'un document :

- Est paramétrable.
- Prend en compte les droits d'accès et les profils des utilisateurs du système.
- Agit sur le statut, la version et la visibilité du document.

**Codification**

Le dépôt de documents dans la GED respecte la codification de nommage définie par le donneur d'ordre.

Le principe de codification établi pour les documents reçus et émis permet aux utilisateurs :

- De réaliser des recherches précises.
- D'avoir le bon document à disposition avec sa dernière version, sans doublon

Les documents comportent un numéro d'identification unique et doit être indiqué dans le cartouche prévu à cet effet ou sur la page de garde.

**Pérennité de la GED**

Le stockage des documents permet une organisation hiérarchisée des documents, notamment par l'utilisation de tags et de métadonnées associés. Il pose plusieurs problématiques, notamment l'adaptation des supports de stockage au volume de documents, la durée de conservation des documents, la sécurité du lieu de stockage, et enfin la gestion des sauvegardes.

**GEDT**

Une déclinaison de la GED est la Gestion Électronique de Données/Documents Techniques (GEDT), le terme technique faisant référence à un usage particulier de logiciel propre à une application industrielle. La GEDT peut par exemple désigner des outils informatiques permettant la structuration, le partage, la sécurisation des données de conception CAO d'un produit industriel.

**PLM et GED**

La GED apparaît comme une des fonctionnalités du PLM, voir la première fonctionnalité pour une organisation qui souhaite déployer une solution PLM.

Une solution PLM gère une dimension supplémentaire : la donnée. Ou autrement dit une solution PLM gère en parallèle l'information structurée (document) et l'information non structurée (donnée) l'une pouvant être rattachée à l'autre et inversement.

Un système PLM est ouvert. Il communique avec les outils Office, les CAO 2D/3D et les ERP et propose des web service permettant de s'interfacer avec tout système ouvert.

Cela permet d'envisager par exemple la création automatique de documents (un devis, un catalogue, une fiche descriptive) à partir d'autres documents (un plan, une image 2D/3D, un modèle...) et des données issues de la dernière nomenclature



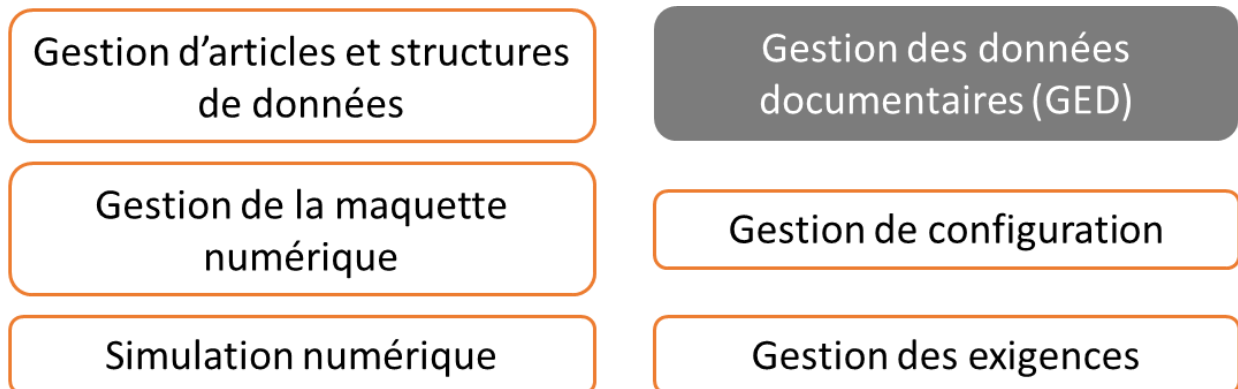


Fig 8. La GED est une des nombreuses fonctionnalités du PLM

## GMAO/ERP

Dans un contexte économique de plus en plus concurrentiel, les actifs physiques des entreprises (équipements, machines, flottes, bâtiments...) sont devenus des enjeux stratégiques et essentiels. Le moindre dysfonctionnement peut engendrer des pertes financières et désorganiser la production et la maintenance de ces actifs.

Les entreprises disposent de deux outils l'ERP (Enterprise Resource Planning) et la GMAO (Gestion de maintenance assistée par Ordinateur).

### GMAO

La GMAO a pour objectif de maintenir en bon état de fonctionnement les actifs physiques de l'entreprise (installations, équipements, machines, véhicules, bâtiments...). Cela permet entre autres d'optimiser la disponibilité de ces actifs, de tracer les opérations de maintenance, d'améliorer les performances opérationnelles et d'apporter une aide à la décision.

Une GMAO permet donc de :

- Décrire les équipements, installations, flottes, bâtiments à maintenir,
- Identifier et planifier les interventions de maintenance pour prévenir les pannes et arrêts des équipements,
- Gérer les achats, stocks et inventaires de pièces de rechange,
- Planifier les opérations de maintenance, allouer les ressources en fonction des besoins, planning, tâches, rôles,
- Organiser les audits et les mises en conformité,
- Gérer les tâches à exécuter via un système de workflow,
- Réaliser des inventaires, des comptes-rendus...

**ERP**

Un ERP permet de gérer l'ensemble des processus d'une entreprise en intégrant l'ensemble de ses fonctions, dont la gestion des ressources humaines, la gestion comptable et financière, l'aide à la décision, mais aussi la vente, la distribution, l'approvisionnement et le commerce électronique.

Cet outil améliore :

- La disponibilité des équipements,
- La durée de vie des machines,
- La répartition des charges de travail de l'équipe de maintenance,
- Le partage de l'information,
- La sécurité des installations,
- La maîtrise des coûts de maintenance.

**ERP/GMAO et le PLM**

Les logiciels de GMAO/ERP et les logiciels de PLM spécialisés en gestion de configuration interviennent dans des domaines semblables sans qu'il n'y ait recouvrement de leurs périmètres fonctionnels.

Le PLM contrairement aux ERP/GMAO permet la mise en place d'une maintenance prédictive plus poussée, qui évolue en fonction du retour d'expérience et en regard des configurations de définition des systèmes. Le PLM est bien l'outil qui gère l'ensemble des configurations des systèmes et en relation avec les autres outils ERP/GMAO présents dans l'entreprise.

**ECD**

Parmi les points importants de la méthodologie BIM, figure la gestion des informations au sein d'un Environnement Commun de Données.

L'Environnement Commun de Données est une « source convenue d'informations sur un PROJET ou un ACTIF donné, utilisé pour collecter, gérer et diffuser chaque conteneur d'information par le biais d'un processus géré » selon l'ISO 19650-1.

**À chaque phase**

L'ISO 19650 précise qu'un CDE doit être ouvert pour toute nouvelle phase de réalisation ou d'exploitation

**Lien entre différents systèmes informatiques**

L'ISO 19650 précise que le CDE est une vision logique virtuelle qui peut être supportée par différents systèmes informatiques dans différents espaces géographiques.

**4 états de traitement de l'information**

L'ECD définit 4 états pour le traitement de l'information :

- L'état « Travail encours », qui permet à chaque acteur de travailler sur un sujet qui n'est pas encore partageable.
- L'état « Partagé », qui permet de partager des données qui ont été contrôlées chacun au sein de sa propre discipline. Le partage permet de garantir la cohérence de la conception des différentes disciplines pour réaliser le projet.
- L'état « Publié », qui permet de livrer des données de façon définitive, comme référence d'une étape du projet.
- L'état « Archive », qui est un espace de traçabilité de l'ensemble des actions qui ont eu lieu dans le projet dans les 3 autres états.

**L'environnement commun des données** permet de stocker, gérer et diffuser l'information. Ses fonctionnalités sont proches d'un outil PLM, notamment dans la notion de traçabilité des échanges et des modifications apportées à l'information.

### Plateforme collaboratives

#### Plateforme configurée pour une organisation

Les plateformes collaboratives doivent permettre de supporter les processus imbriqués de gestion des exigences et de gestion des informations.

Chaque organisation est soumise à un ensemble d'exigences liées au domaine dans lequel elle évolue. La plateforme collaborative doit implémenter des outils qui permettent la gestion de projet conformément au domaine concerné, en temps réel. La plateforme collaborative doit fournir des interfaces homme/machine évolutives et adaptatives qui permettent à ces acteurs d'avoir une compréhension facile (voire intuitive) des informations présentées en vue d'une prise de décision rapide et optimale.

#### Adaptée aux évolutions de l'organisation

Au-delà des processus standards exigés, chaque organisation pourrait souhaiter mettre en œuvre des spécificités. Par exemple, souhaiter implémenter de nouveaux workflows, de nouvelles méthodes type sprint, méthodes agiles, ... et les piloter depuis la plateforme. Une plateforme collaborative se doit d'être souple et évolutive pour s'adapter à ces besoins.

#### Intègre et visualise des données

La plateforme a pour rôle d'intégrer les données issues de différentes sources afin de pouvoir les afficher dans un format compréhensible aux acteurs concernés. Plusieurs formats doivent pouvoir être proposés pour faciliter la compréhension des acteurs et leur prise de décision.

#### Enregistre des décisions

La plateforme a pour rôle de faciliter les prises de décision et de permettre d'enregistrer les prises de décision dans les espaces de stockage de données concernés. La plateforme doit être en mesure de gérer les formats standards (BCF, ...).

#### Gère les échanges entre les acteurs

Workflow, outils chat/emails/ ..., traçabilité de la collaboration

### PLM et plateforme

Les fonctionnalités attendues des plateformes collaboratives se rapprochent des fonctionnalités des SGDT (système de gestion de la documentation technique) qui composent un PLM. Les plateformes permettent les échanges et analyses entre les différentes modélisations existantes sur un projet.

### Jumeau numérique (JN)

Le jumeau numérique (en anglais *Digital Twin DT*) a pour ambition d'être, à tout moment du cycle de vie d'un ouvrage, la représentation fonctionnelle virtuelle réaliste et fiable d'un ouvrage ou d'un produit industriel.

#### À tout instant comparer le réel le JN

Il est donc ainsi possible de comparer à tout moment de la vie d'un ouvrage la réalité et sa représentation virtuelle tant dans ses dimensions fonctionnelle et organique que dans son fonctionnement même (données d'observation).

#### Une architecture de services

Le jumeau numérique suppose la mise en place d'une architecture complexe de services pour supporter les usages multiples et très riches qu'il permet.

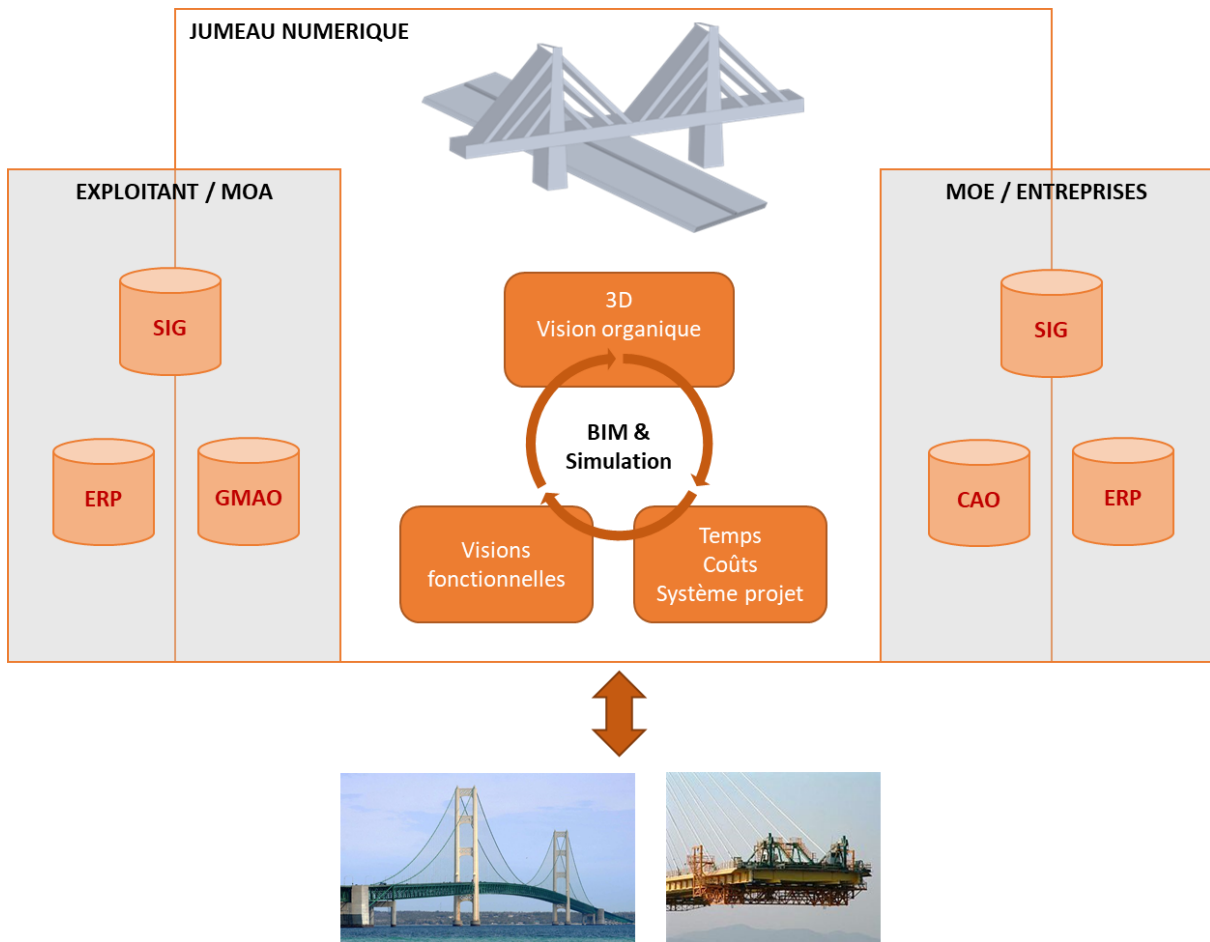
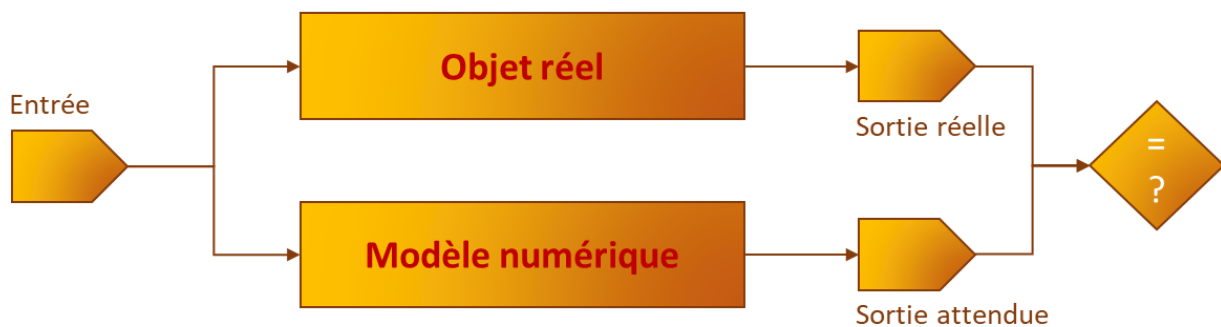


Fig 9. Périmètre d'un jumeau numérique

Comparaison continue entre un système réel et sa représentation numérique



Analyse des écarts – Détection de comportement anormal

- dysfonctionnement
- utilisation non prévue du système réel

Fig 10. Schéma JN Naval Groupe

## LE JUMEAU, UNE PLATEFORME POUR LE DÉVELOPPEMENT DE SERVICES - TOUT AU LONG DE LA VIE D'UNE INFRASTRUCTURE

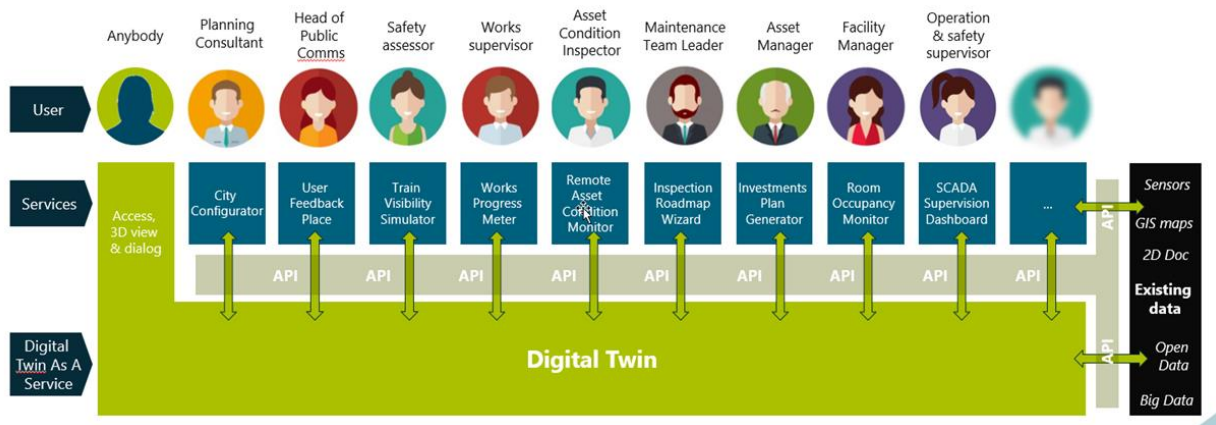


Fig 11. Schéma JN EGIS

### Les usages permis par le Jumeau numérique

Les usages que rend possibles le jumeau numérique sont multiples. En restant aux grandes lignes :

- les simulations opérationnelles de l'infrastructure et des activités de services autour de l'infrastructure, y compris les modes dégradés ;
- Les opérations de maintenance en conditions opérationnelles de quelque niveau que ce soit ;
- Les opérations de secours ;
- La planification, le management et le suivi des travaux de construction
- La formation des divers opérateurs ayant à opérer sur l'infrastructure.

### Contraintes et enjeux nouveaux

Parmi les contraintes et enjeux nouveaux ou très significatifs avec le Jumeau Numérique, sont à mentionner les points suivants :

- La représentation au point de vue fonctionnel ne peut être unique comme elle peut plus facilement l'être dans la représentation organique, elle nécessite de faire appel à de nombreux modèles fonctionnels et éventuellement dans les cas les plus complexes à des « réductions » de modèles (ou simplifications) : ceci demandera une gestion spécifique de ces modèles ;
- Du fait de la très grande variabilité des systèmes et organismes impactés par un ouvrage et par leur très longue longévité, les contraintes d'interopérabilité et de pérennité des informations sont très fortes, de même que l'exigence d'ouverture des informations, formats et logiciels ;
- La collaboration avec d'autres intervenants est très grande et la notion de jumeau numérique doit être partagée également au niveau des fournisseurs des sous-systèmes les plus importants.

### PLM et Jumeau Numérique

Le PLM permet la description et la gestion d'un patrimoine tout au long de son cycle de vie y compris la prise en compte de rénovations et de nouveaux projets. Il est essentiellement descriptif de ses états successifs et de ses modes de fonctionnement et d'interventions.

Le Jumeau Numérique présente l'ambition supplémentaire d'en être à tout instant une représentation dynamique simulant son fonctionnement.

L'un comme l'autre nécessite une architecture de services rendue accessible sur une plateforme fonctionnant au sein d'un Environnement Commun de Données.

### Enrichissements mutuels de ces outils et concepts

Le BIM et les IFC permettent de décrire une construction intégrée dans un environnement physique avec lequel elle est en interactions (sol, climat, urbanisme etc.). Le SIG permet que cette description puisse intégrer les grandes échelles et les environnements naturels et anthropiques.

La GED permet la gestion des documents techniques produits tout au long du travail d'ingénierie tout au long du cycle de vie.

Les ERP assurent la connexion aux systèmes d'information des sociétés (MOA, exploitant-mainteneur, usager, MOE, Entreprises, Industriels) pour pouvoir planifier et mobiliser les ressources nécessaires et la logistique d'exécution des tâches. La GMAO est appropriée pour la gestion et la maintenance des constructions.

L'ECD fournit aux divers intervenants un cadre de données propres à chacun tout en permettant l'échange sémantiquement significatif entre tous.

La plateforme collaborative permet l'usage de tous les outils précédents dans un outillage et un environnement sûr, fiabilisé et sécurisé garantissant l'interopérabilité.

Le JN suppose les fonctions précédentes et introduit en plus la simulation des fonctionnements et le parallélisme permanent entre représentation virtuelle et ouvrage réel.

**Le PLM apparait comme l'outil fédérateur et le point d'entrée de la donnée. Il alimente les autres outils et concepts et permet d'interfacer des fonctionnalités communes et de fiabiliser les échanges entre tous les acteurs d'un projet.**

## 5. EXEMPLE D'APPLICATION PLM : CYCLE DE VIE DES CHAUSSÉES

### 5.1 Préambule

#### UC2 MinndS1

Les chaussées constituent l'un des principaux éléments du patrimoine d'une infrastructure routière : elles requièrent des règles de conception liées à un contexte variable (trafic, climat, durée de dimensionnement ...), elles s'adaptent sur leur durée de vie (entretien, renforcement, élargissement...), elles ont des interactions fortes avec les usagers (confort, sécurité...), elles représentent un budget important en termes de construction, de maintenance et d'entretien.

#### Connaître le patrimoine et les acteurs associés

Structurer les données liées aux chaussées, définir les objets auxquels sont rattachées ces données, identifier et représenter les échanges entre les différents acteurs, rendent possible la mise à disposition de toutes les informations nécessaires à la connaissance du niveau de service offert à l'utilisateur et de l'état du patrimoine sur le cycle de vie.

#### Modèles de données et maquette numérique

Un modèle de données associées à la chaussée a été défini d'une manière exhaustive pour les différentes phases de développement du projet. La démarche est déjà engagée dans le domaine des chaussées par la mise en œuvre de bases de données routière (BDR) et l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG).

L'usage de la maquette numérique ouvre de réelles perspectives de fluidification des échanges d'informations entre les différents acteurs du domaine. Dans le cadre de l'UC2 du projet Minnd saison 1, une matrice des données échangées a été produite, permettant de figurer les phases, les acteurs et les données échangées (avec une notion de donnée obligatoire ou optionnelle).

**La maquette numérique** et les **systèmes d'informations** permettent aujourd'hui de disposer d'un **modèle structuré** pour le suivi des chaussées. Ce modèle est parfois incomplet, souvent créé à posteriori des travaux et basé sur des récolements papier. Serait-il envisageable de collecter toutes les données et informations dès la conception, ou de la réception initiale ? **Le PLM répond-il à ces attentes**, en partie ou intégralement ?

#### Les objectifs métiers

Pour ce cas d'application, seul le cycle exploitation-maintenance est abordé. Les objectifs métiers suivants sont identifiés :

- **Réception** : livraison des chaussées (constructeur vers mainteneur et mainteneur vers concepteur),
- **Évaluation et suivi** : surveillance, diagnostic,
- **Programmation** : réalisation des études, rédaction des DCE,
- **Travaux d'entretien** : études d'exécution, travaux,
- **Déconstruction** : Planification et suivi.

## 5.2 Application du processus PLM

### Définition des processus

Dans le cas du cycle de vie des chaussées, il est possible de distinguer trois processus successifs et fonctionnant en boucle :

- Un processus de programmation/conception, dont l'objectif est la définition de la chaussée qui sera livrée à l'exploitant (respect des exigences).
- Un processus de conception/construction dont l'objectif est la description des étapes de réalisation de la chaussée (optimisation, approvisionnement, application, gestion du trafic, balisage...)
- Un processus de maintien en condition opérationnelle, dont l'objectif est la définition des méthodes de suivi et diagnostic des chaussées qui alimenteront à nouveau un processus de programmation/conception.

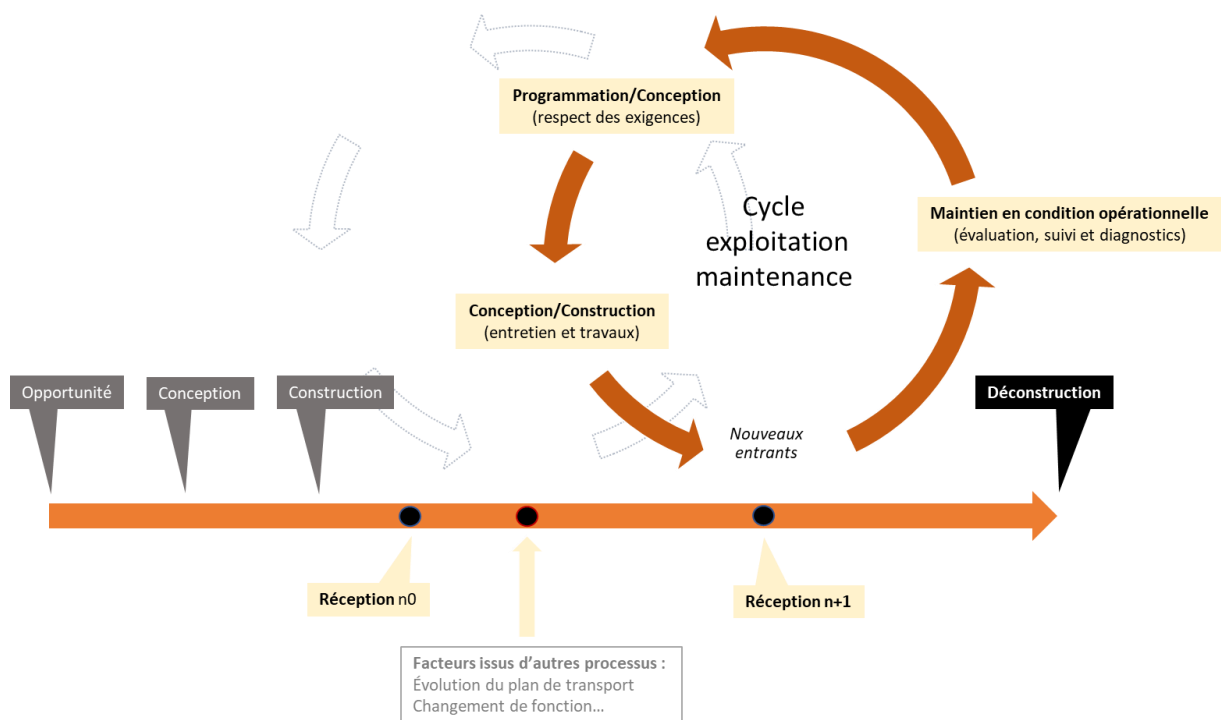


Fig 12. Représentation schématique du cycle de vie des chaussées et des processus

Pourquoi ne pas appliquer **les méthodes dites PLM** sur le processus d'entretien et de maintenance d'une chaussée ? Est-il possible de définir les **différentes configurations** qui seront nécessaires, ainsi que le découpage, ou la **nomenclature** du projet à considérer ?



**Structuration de la donnée**

**Structures tel que conçu « as designed »**

**Structures tel que devrait être fabriqué « as planned »**

**Structure tel que fabriqué « as built »**

**Éléments interchangeables**

Pour décrire la chaussée à maintenir, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. La première consisterait à modéliser les structures en utilisant les outils CAO et BIM et à associer une GED pour stocker la documentation.

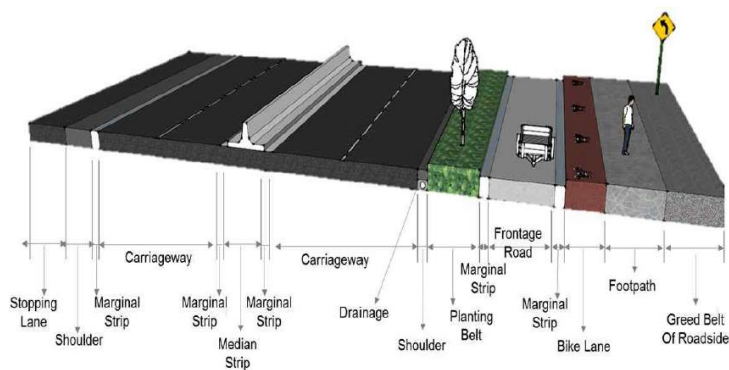
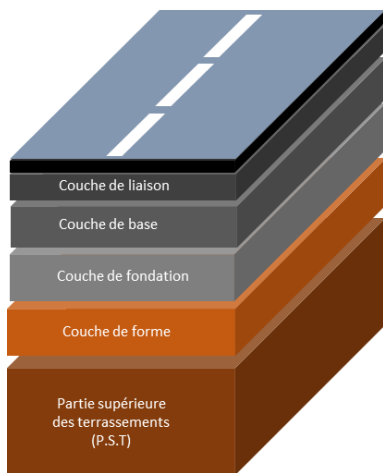
La seconde pourrait se baser sur la méthode PLM, en réalisant une représentation système sous la forme de graphes et d'associer des nomenclatures. Cette méthode permettrait de distinguer plusieurs décompositions, appelées structures produit dans l'industrie. Appliquée aux chaussées cela donnerait les structures décrites ci-après.

Graphe et nomenclature, résultats de la conception « études » basée sur le suivi et le diagnostic de la section considérée et les objectifs et exigences à prendre en compte.

Graphe et nomenclatures, résultats des études d'exécution. Cela peut inclure les propositions et variantes des entreprises, les résultats des demandes d'agrément en fonction des formulations et des granulats proposés.

Graphe et nomenclature des chaussées effectivement réalisées en tenant compte des contraintes et adaptations au terrain. Cela entraîne des écarts avec la structure « as planned ». La description de la structure « as built » devient la référence pour la nouvelle phase du suivi et de la maintenance de la chaussée considérée.

Cette notion est importante pour la définition des structures. En effet il est possible de décrire non pas un produit précis mais les caractéristiques attendues d'un produit. C'est effectivement le cas dans les infrastructures et notamment pour les chaussées et la définition de la formulation des enrobés. Cela est géré par la validation des demandes d'agrément (granulats, bitume, additifs...).



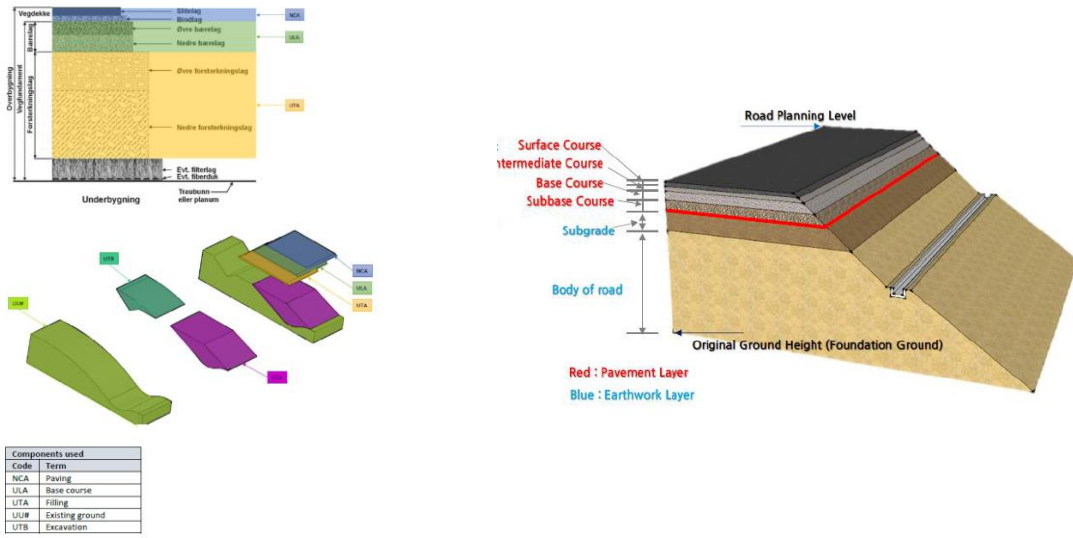


Fig 13. Exemple de décomposition d'une chaussée (source IFC Roads)

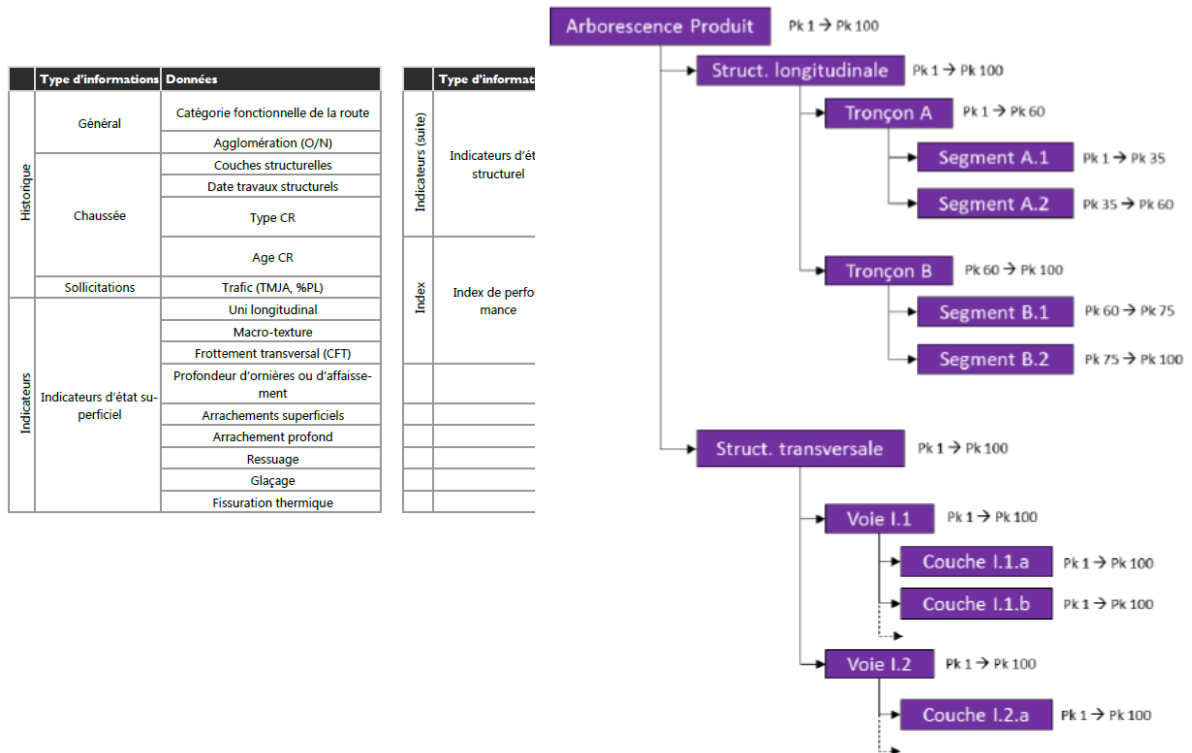


Fig 14. Exemples de structures de données (source UC2 MINNDsI)



**La chaussée peut donc être décrite objet par objet.** Toute l'information associée est stockée, organisée, mise à jour tout au long du cycle de vie de l'ouvrage. Cela permet entre autres **d'effectuer des comparaisons** entre ce qui a été étudié et ce qui a été réellement réalisé. C'est la notion de **gestion de configurations**, une des principales fonctionnalités du PLM.

### Gestion de configuration pour le cycle de vie des chaussées

La connaissance de la configuration permet entre autres de connaître :

- la provenance des matériaux et leurs propriétés,
- le processus de fabrication des enrobés,
- les produits mis en œuvre,
- les procédés de mise en œuvre,
- les processus de maintien des chaussées en condition opérationnelle...

Il est donc important de bien définir les différentes configurations qui seront utiles à la gestion et l'exploitation maintenance des chaussées.

#### Configuration initiale

Description de la chaussée après la réception n0, basée sur le récolement des entreprises (documentation technique, provenance des matériaux, moyens mis en œuvre, garanties...)

#### Configuration du tel-que-maintenu

Reprises ponctuelles, boucles de comptage, enduits haute adhérence...

Relevé de tous les indicateurs de suivi des chaussées, en particulier du vieillissement et des relevés climatologiques.

#### Configuration prédictive

Prédiction du vieillissement de l'ouvrage selon un modèle de vieillissement et d'usure.

#### Configuration PRO/DCE

Fascicule technique, exigences attendues en fonction de la zone géographique (granulats, climat, trafic...), validées par la direction technique.

#### Configuration EXE

Variante, agrément de nouveaux produits, validation de la « recette » contractuelle qui devra être mise en œuvre.

#### Configuration après travaux

Prise en compte des modifications et adaptations terrain.

Validation de l'état de conformité vis-à-vis de la configuration EXE. Apparition des réserves à lever.

#### Configuration de livraison

Transmission de l'ouvrage à l'exploitant et du DOE correspondant.

#### Configuration déconstruction

Description des méthodes de déconstruction, traçabilité du recyclage des matériaux, suivi des déchets...

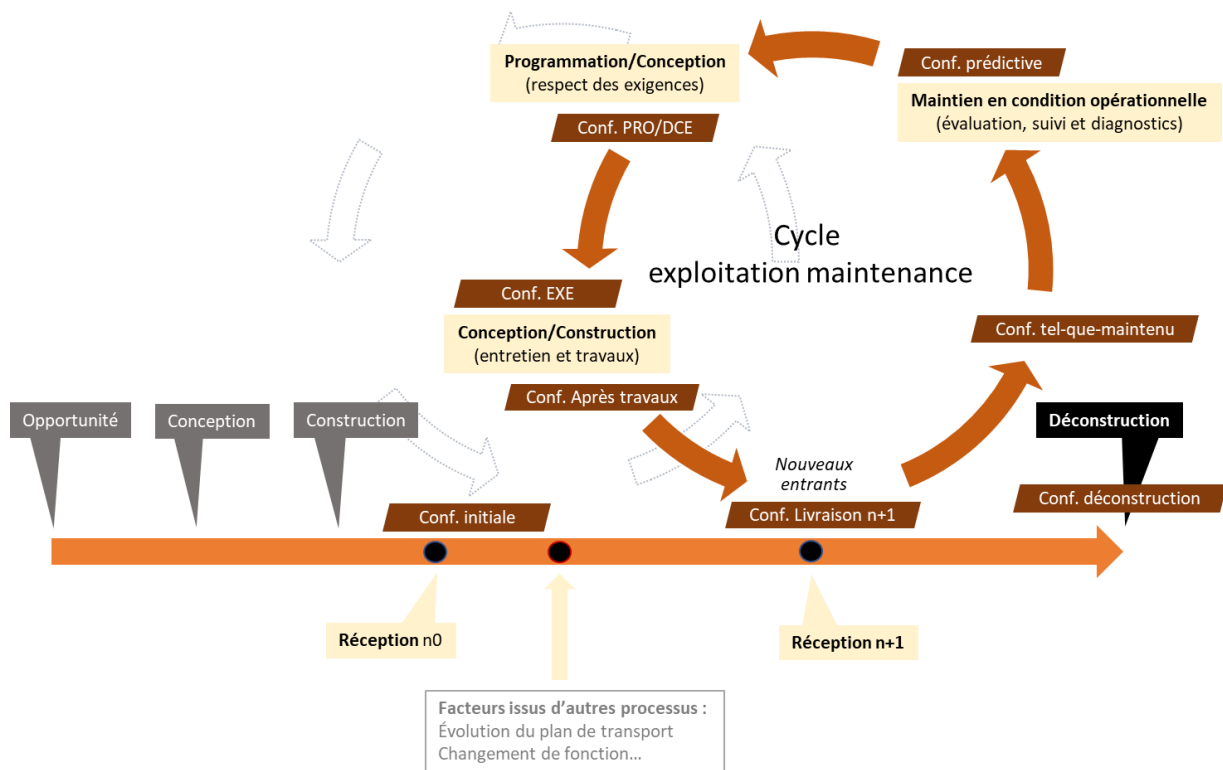


Fig 15. Représentation schématique du cycle de vie des chaussées et des configurations PLM

### Configuration et système d'informations

Les différentes configurations vont décrire les aspects du projet à des stades du cycle de vie définis. Elles s'articulent autour de 3 systèmes d'informations (SI) principaux dans le cas des chaussées :

- SI géolocalisé (statique)
- SI capteurs de données (temps et localisations) (en temps réel)
- SI Modèle prévisionnel (comparatif)

et décrivent ainsi une chaussée dans les configurations :

- Livrée, avec mise à jour à chaque réhabilitation significative,
- Mesurée, grâce au système de suivi régulier ou aux campagnes d'auscultation,
- Prédite, lorsque l'ensemble des informations sont recoupées avec des lois de fatigues ou des abaques permettant d'anticiper le vieillissement de la structure.

**Maintien en condition opérationnelle MCO**

Il est ensuite possible d'établir un processus de maintien en condition opérationnelle, dont l'objectif est la définition des méthodes de suivi et diagnostic des chaussées qui alimenteront à nouveau un processus de programmation/conception.

Cette combinaison participe à l'enrichissement du savoir en centralisant ces trois grands blocs : As built / Suivi / Rex des comparaisons avec les modèles prévisionnels. L'emploi d'un PLM Chaussée contribue dans ce cas au pilotage d'infrastructure routière avec une prise de décisions de travaux plus éclairée et assurant l'exactitude d'un historique « sourcé » et documenté.

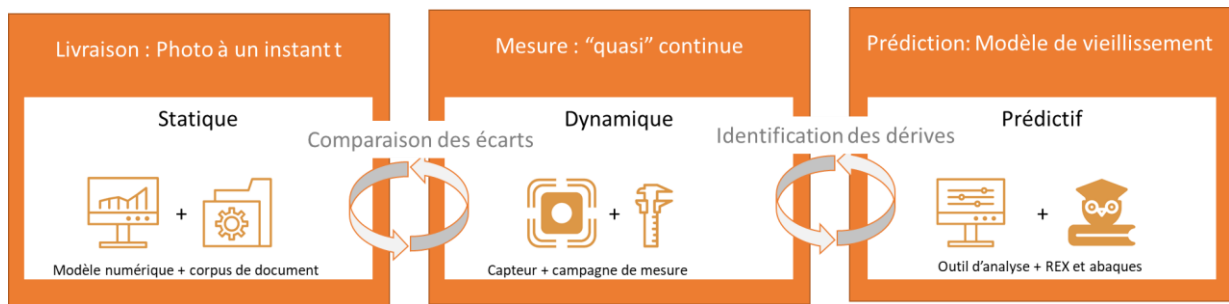


Fig 16. Schéma directeur des méthodes et suivi pour un MCO des chaussées

## Les exigences

La gestion des exigences est très largement abordée et détaillée dans le livrable n°3 de l'UC2 de MINnDS1. Ce qu'il faut retenir est que dans un projet de construction plusieurs acteurs interviennent à différentes phases du projet. Les différents acteurs sont liés les uns aux autres par des contrats à une organisation de réalisation du projet.

Un des principaux enjeux est de maîtriser la répartition des responsabilités et des engagements, pour chacun d'entre eux. Derrière le respect de ces engagements se cache un enjeu financier pour chaque partie. Bien sûr, d'autres enjeux peuvent être présents (sécurité, fiabilité, écologie, performance, ergonomie...).

### La couverture des exigences

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"> <li>• s'interroger sur le bien-fondé de cette exigence,</li> <li>• et le cas échéant, créer ou modifier une exigence de plus haut niveau (avec impact contractuel, le cas échéant).</li> </ul>
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.

### L'organisation des exigences

Vu précédemment, une chaussée peut être décrite et décomposée de plusieurs manières différentes. La structure organisationnelle 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). La décomposition dite « produit » d'une chaussée permet d'associer et de répartir les exigences dans des contextes différents.





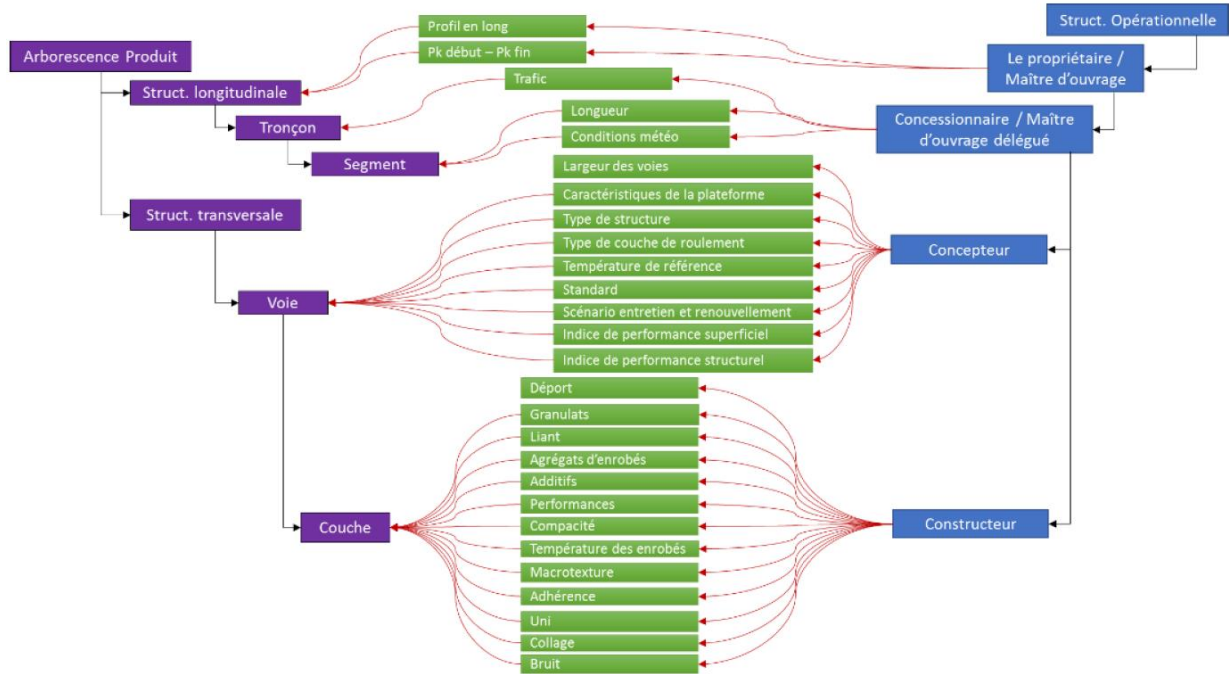


Fig 17. Les exigences (MINnD S1 UC2)

- Cette représentation permet d'identifier les exigences ventilées sur la structure produit et les acteurs-source de ces exigences.
- Cette représentation traite des exigences propres à la chaussée. D'autres exigences purement organisationnelles, présentes dans les contrats, peuvent être allouées aux acteurs. Néanmoins, il n'est pas obligatoire de les ventiler sur l'arborescence produit.

## 5.3 Synthèse

### Synthèse

La méthode PLM permet de décrire précisément les processus de suivi et de maintenance des chaussées. La définition des structures par graphe et nomenclature est très adaptée pour ce suivi. La gestion des configurations est très efficace pour effectuer des comparaisons entre les différentes phases de l'exploitation et de la maintenance des chaussées.

L'apport du PLM est donc conséquent pour assurer le suivi et le maintien en condition opérationnelle des chaussées. Les schémas et le tableau suivant illustrent et synthétisent cet apport. Il apparaît donc que les fonctionnalités d'un outil PLM complètent et s'insèrent dans les outils et processus métiers existants.

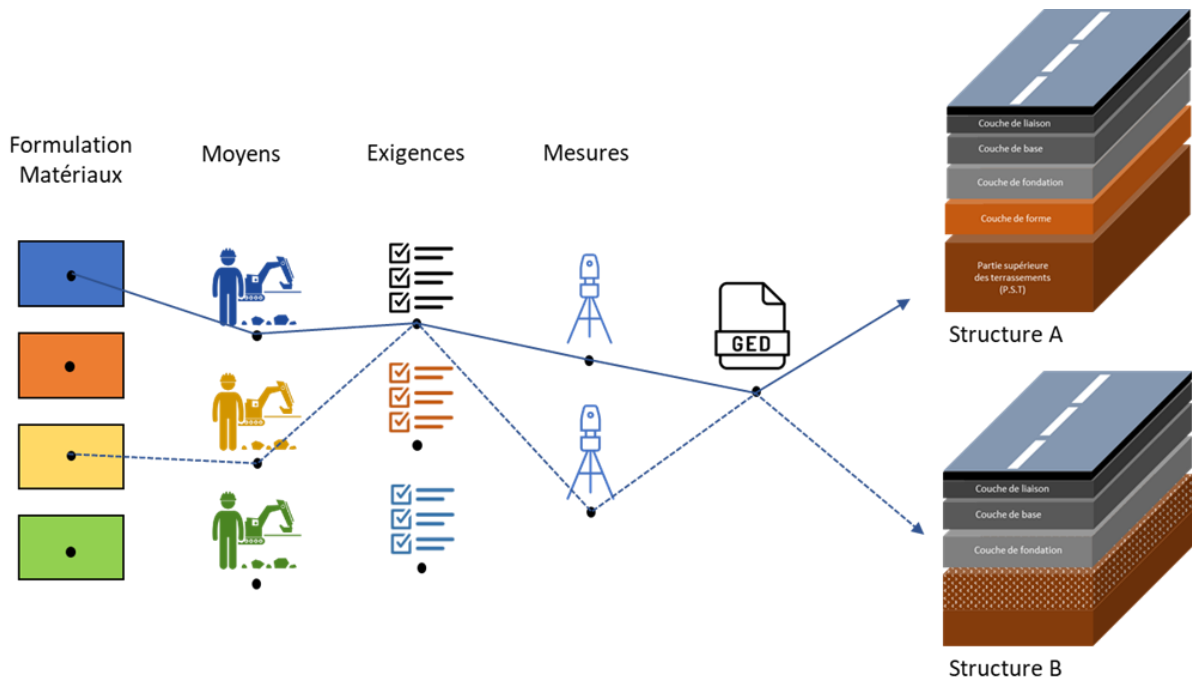


Fig 18. Apport du PLM cycle de vie des chaussées

- Illustration matricielle du processus PLM et des configurations possibles permettant d'améliorer la traçabilité des données produits et des moyens mis en œuvre pour réaliser les travaux de chaussées

Fig 19. Analyse croisée des processus et procédés

- Tableau page suivante

Analyse croisée processus-procédés	Procédés & apports PLM					
Processus Exploitation & MCO	SGDT	CONF	EXIG	MODIF	Procédés PLM	Apport
<b>Réception des chaussées</b>						
Réception du DOE	X	X	X		Gestion des configurations	Fort
Mise à disposition plans/documents	X	X	X	X	Gestion des données	Fort
Suivi des garanties	X	X	X		Gestion des exigences	Modéré
<b>Évaluation et suivi</b>						
Détection, suivi visuel		X	X		Gestion des configurations	Modéré
Auscultation périodique	X	X	X		Configuration à date	Fort
<b>Programmation</b>						
Études	X	X	X		Gestion des configurations	Modéré
DCE		X	X		Gestion des exigences	Faible
<b>Entretien/Travaux</b>						
Préparation	X	X	X	X	Configuration à date	Modéré
Suivi des travaux	X	X	X	X	Gestion des configurations	Modéré
Réception des travaux	X	X	X	X	Gestion des exigences	Fort
Levé des réserves	X	X	X	X	Gestion des exigences	Modéré
DOE	X	X		X	Gestion des données	Fort

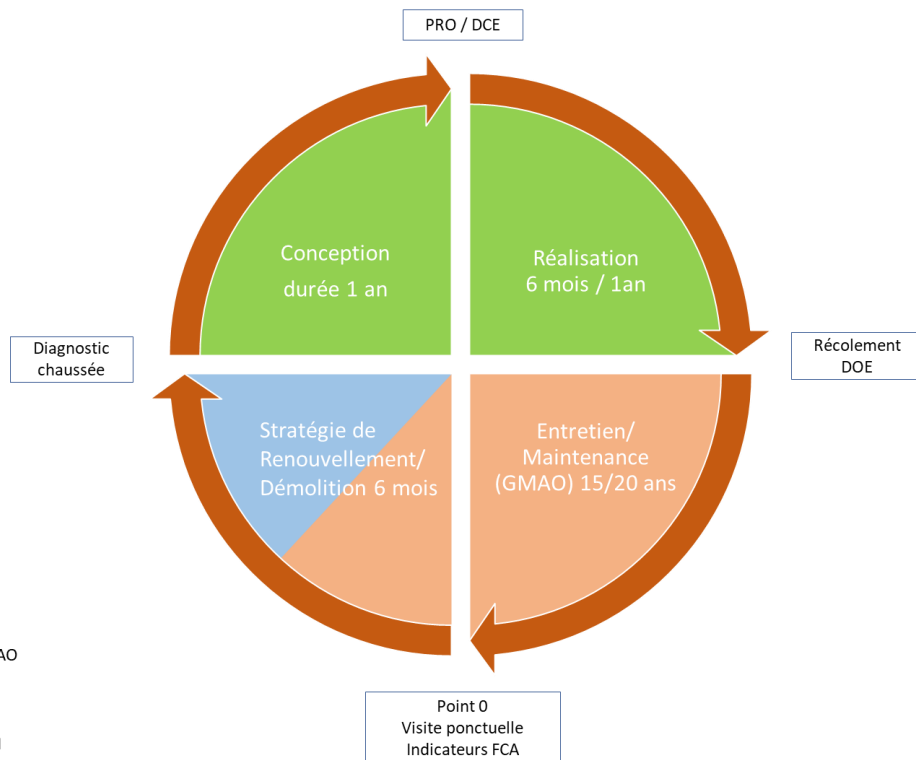


Fig 20. Représentation schématique du cycle de vie des chaussées et des solutions « métier » sollicitées (INGEROP)



## 6. PRÉCONISATIONS, MISE EN ŒUVRE ET CONCLUSION

### 6.1 Préconisations et seuils d'application

<b>Contexte</b>	<p>La démarche PLM permet d'améliorer la gestion du cycle de vie d'une infrastructure. L'interopérabilité en est améliorée et les échanges entre les outils métier facilités. En contrepartie, cette démarche a un coût, financier en ressources et mises en œuvre, ou en appropriation de nouvelles modalités qu'il convient d'apprécier à sa juste valeur.</p>
<b>Préconisations</b>	<p>Il faut ainsi se poser la question de l'applicabilité de cette démarche à toutes les infrastructures ou seulement à des infrastructures spécifiques ? Il serait intéressant de définir des seuils d'application et lister les principales préconisations à prendre en compte avant de se lancer dans une démarche PLM.</p> <p><b>Ce doit être une véritable volonté interne</b></p> <p>La mise en œuvre d'une solution PLM engendre un changement d'organisation et des processus internes à l'entreprise. Le projet doit être porté par la Direction Générale, qui doit elle-même impulser une dynamique. Cela facilitera d'autant plus la validation des investissements nécessaires à engager.</p> <p><b>Établir au préalable un état des lieux</b></p> <p>Une réflexion interne doit être menée avec tous les acteurs, en amont du projet ; pour définir les besoins et les objectifs à atteindre.</p> <p><b>Formuler une stratégie et définir les objectifs</b></p> <p>Il est en effet important d'identifier les gains attendus vis-à-vis des investissements et des efforts entrepris. Ce travail peut s'intégrer dans une démarche d'accompagnement aux changements et de transition numérique des métiers.</p> <p><b>Coller aux avancées de la normalisation</b></p> <p>La normalisation est à la fois nécessaire et très active. Elle nécessite la présence et la collaboration de tous les acteurs directs et indirects.</p> <p><b>Utiliser la démarche comme une opportunité vis-à-vis des nouvelles réglementations</b></p> <p>L'interopérabilité, l'indépendance des solutions, les formats ouverts deviennent des obligations pour les entreprises qui intègrent des processus complexes à plusieurs acteurs. Le déploiement d'une solution PLM peut être donc une opportunité pour les entreprises.</p>
<b>Objectifs</b>	<p>Il est important de définir, au préalable d'une mise en œuvre d'une solution PLM, les objectifs à atteindre et de partager cette réflexion avec l'ensemble des équipes et des services concernés.</p> <p><b>Identifier les besoins des métiers</b></p> <p>Identifier les fonctionnalités du PLM qui peuvent être complémentaires autres outils présents dans l'entreprise, comme par exemple la gestion des données techniques, piloter des processus, gérer des configurations...</p> <p><b>Rendre intelligible un environnement complexe</b></p> <p>Partager, centraliser l'information, collaborer entre départements et avec ses fournisseurs et clients. Chaque partenaire doit avoir accès aux mêmes informations.</p> <p><b>Piloter les projets</b></p> <p>Accéder rapidement aux informations, à la bonne version d'un document, visualiser l'état des ressources, planning, intervenants, visualisation des études de conception...Améliorer la collaboration entre services, décloisonner !</p>

**Tendre vers un référentiel unique**

**Optimiser projets et processus**

**Assurer la traçabilité**

Permettre la standardisation des processus internes.

Fiabiliser les informations et réduire les temps de développement des produits et donc d'optimiser les projets.

Capitaliser l'information et le savoir-faire de l'entreprise, capitaliser sur le retour d'expériences, pour améliorer le processus de gestion du cycle de vie, d'un produit, d'un objet, d'un ouvrage.

### Périmètre

**Le type d'infrastructure visé doit présenter une certaine complexité**

Les infrastructures visées ne peuvent être simples et limités dans leur étendue (par exemple un rond-point seulement, ou une route à faible trafic). Cependant, et si ces « projets d'ampleur restreinte » sont des composantes d'une infrastructure plus étendue et figurant au patrimoine beaucoup plus large d'un exploitant de réseaux par exemple, il est certainement nécessaire d'étudier la mise en conformité des BIM « simples » développés pour ces projets spécifiques et singuliers avec un système PLM plus vaste possédé par le gestionnaire d'infrastructure.

Certaines infrastructures peuvent, même si de plus faible envergure (comme une centrale énergétique de faible puissance), justifier le passage à une solution PLM s'il est attendu que cette infrastructure aura à s'adapter à des environnements changeants sur l'horizon de temps souhaité et si la dimension d'exploitation et maintien en conditions opérationnelles est très prégnante.

**Le critère de la nature des ouvrages est moins important**

Ce critère semble moins délicat que celui de la complexité intrinsèque et les caractéristiques très dynamiques d'exploitation pouvant nécessiter des configurations nouvelles, des rénovations voire des travaux neufs.

**Une échelle de temps long est une circonstance favorable**

Plus la vie du produit ou de l'ouvrage est long plus la traçabilité devient nécessaire, notamment pour tracer les évolutions et les exigences intrinsèques au projet.

### Coûts

Le coût de la transformation n'est jamais anodin tant sur la personnalisation et l'adaptation des solutions aux besoins réels de l'entreprise que sur les éléments de transformation de la culture d'entreprise. Les coûts à prendre en compte sont les suivants :

- Études en amont, diagnostics
- Développements pour adapter les outils processus déjà en place
- Licences des logiciels
- Formations et accompagnement

Il faut prendre en compte aussi les aspects stratégiques positifs et décisifs qu'une telle transformation peut permettre. La digitalisation est une marche inexorable ; la transformation en incluant le PLM sur cette route n'est jamais qu'une démarche progressive, moins radicale que celle du jumeau numérique mais qui la prépare. Il faut donc voir cette transformation dans une perspective stratégique technique de plus grande ampleur. La question devient alors de savoir comment dimensionner correctement la démarche, ni trop ni trop peu, plutôt que d'y aller ou pas.

## 6.2 Méthode de mise en œuvre

### Un projet global, technique et informatique, de longue haleine

La mise en œuvre d'un système PLM est une tâche complexe qui s'apparente à la conception d'un système d'information spécialisé recouvrant la stratégie technique de l'entreprise. Cette tâche nécessite plusieurs mois de travail et parfois plusieurs années.

La mise en œuvre d'une infrastructure autour du PLM est un projet global et pas seulement informatique. Ce projet s'intègre dans la stratégie de l'entreprise et doit être porté de préférence par la direction générale elle-même.

Aussi, tout projet de déploiement d'un système PLM nécessite de maîtriser les points suivants :

- les processus métiers et les refontes éventuelles,
- la définition des objectifs opérationnels demandés au PLM,
- les migrations de données,
- l'intégration globale avec les autres composantes du SI (comme l'ERP ou la GMAO),
- la conduite du changement,
- les supports et la formation.

### Identifier enjeux et objectifs

Avant de décider de mettre en place une solution PLM, il est sage d'identifier l'objectif à atteindre et les enjeux. Il faut évidemment prendre en compte dans cette réflexion préalable les contraintes de budget et de planning. Tout cela permettra d'identifier la solution PLM la plus adaptée à l'entreprise et à son environnement informatique et organisationnel et de dimensionner le processus de changement.

Pour résumer, durant la phase d'avant-projet, il s'agit de :

- définir le projet,
- rédiger le cahier des charges,
- choisir une solution et son processus de mise en œuvre.

### Soigner l'intégration dans les différents services

Une fois ce travail préalable réalisé, la phase de mise en œuvre va correspondre à l'adaptation du système à l'organisation de l'entreprise et aux enjeux identifiés :

- recensement des besoins des différents services,
- architecture et intégration dans le système de l'entreprise,
- impact du PLM sur l'organisation de l'entreprise,
- priorisation des besoins et détermination du périmètre fonctionnel du projet,
- mise en place d'un POC (Proof Of Concept),
- définition précise du périmètre du projet et de la méthodologie de déploiement du PLM.

### Mettre en place un accompagnement

Pour que le déploiement soit réussi, une phase d'accompagnement et d'adaptation est nécessaire. L'information et l'implication des futurs utilisateurs est indispensable au fur et à mesure de l'avancement du projet. L'accompagnement au changement ne doit pas être négligé pour lever les dernières réticences qui peuvent subsister au sein des équipes.



Fig 21. Étapes de déploiement d'une solution PLM



## 6.3 Conclusion

### Évaluation d'une démarche PLM

#### Les opportunités présentées par la gestion de configuration

L'objet de ce livrable vise principalement à donner les outils d'évaluation de l'apport de valeur d'une démarche PLM dans le contexte d'une infrastructure de transport sous exploitation, voire en conditions dégradées, de son entretien et de sa maintenance en condition opérationnelle (MCO).

Il est important de souligner le travail nécessaire à réaliser pour ajuster les fonctions et notions du PLM, pour les intégrer dans la culture du monde de la construction et des infrastructures linéaires.

La notion de configuration se distingue des autres solutions déjà répandus sur les projets d'infrastructures. L'application aux infrastructures des principes et des finalités d'une gestion de configuration amenée par une solution PLM porte notamment sur le quotidien des opérations d'entretien et de MCO :

- documenter la performance fonctionnelle de l'ouvrage, c.à.d. : le flux nominal à assurer entre 2 deux nœuds (diffuseurs) interconnectant des trafics amont et des trafics aval,
- documenter celle des objets unitaires qui composent l'ouvrage, c.à.d. : les capacités des ouvrages d'art, les capacités des BPV et des gares latérales, les capacités des zones de stockage PL,
- évaluer la conséquence d'une intervention sur un objet unitaire (maintenance de 3 portes sur 10 d'une PMV, condamnation de la voie lente pour entretien des CAF sur un linéaire donné, fermeture d'une aire PL pour cause de saturation), conduisant donc à une capacité fonctionnelle de l'ouvrage amoindrie.

Comme le montrent les travaux conduits, elle peut aussi être mise en œuvre dans une approche de long terme pour optimiser la définition et l'exploitation d'une infrastructure, en constante évolution et maintenance.

### Complémentarité du BIM et du PLM

La maquette numérique est l'élément central pour permettre la collaboration de tous les acteurs d'un projet d'infrastructure. Il manque cependant un outil complémentaire pour assurer la bonne gestion du cycle de vie de l'ouvrage considéré. Le PLM permettrait de combler ce vide et d'apporter les fonctionnalités complémentaires essentielles à la bonne gestion d'un patrimoine infrastructurel.

Le processus BIM permet donc de constituer un réceptacle centralisé et partagé des données descriptives de l'ouvrage (géoréférencement, données géométriques et données sémantiques), d'en faciliter la compréhension, d'en consulter les propriétés et d'effectuer les vérifications d'interactions entre les différents éléments qui le composent.

Le PLM et notamment avec le système de gestion des documents techniques intégré, formalise les processus de validation et d'échange des données produites tout au long du cycle de vie de l'infrastructure. La gestion de configuration propre au PLM permet de décrire précisément l'infrastructure à tous les moments clés de sa vie.

**L'approche BIM-PLM permettra donc d'assurer une gestion globalisée de l'infrastructure tout au long du cycle de vie de l'infrastructure**, facilitée par l'appréhension immédiate qu'apporte le modèle BIM de la situation réelle des ouvrages, de leur état et des contraintes d'accessibilité qui s'y appliquent. **Le contrôle de l'information sera garanti** par l'intégration des outils et un modèle conceptuel de données communs aux deux processus. Cette approche prépare **le passage au Jumeau Numérique** et à l'intégration des données d'exploitation et des connaissances associées.

## 7. GLOSSAIRE

Définitions nécessaires pour aborder le domaine de ce livrable. Pour les autres définitions spécifiquement liées au processus BIM se référer au glossaire MINnD.

<b>Article</b>	<p>Selon la norme IO 10007:1995 on définit un article de configuration comme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• un ensemble de matériels, de logiciels, de produits, issus de processus à caractère continu, de services</li> <li>• d'un sous-ensemble défini de ceux-ci,</li> <li>• qui a été retenu pour la gestion de configuration et qui est traité comme une seule entité dans le processus de gestion de configuration.</li> </ul> <p>On peut ainsi décomposer un système en articles de configuration, eux-mêmes décomposés en sous articles de configuration et ainsi de suite...</p>
<b>Document</b>	<p>Le terme document est très souvent mal utilisé, sans distinction par exemple entre un document Word ou de fichier Word. Or un document n'est pas un fichier : dans un système documentaire, un document est un ensemble cohérent d'informations pouvant ou non contenir un ou plusieurs fichiers :</p> <p>Dans un document on va donc retrouver des informations, les métadonnées, qui ne sont pas contenues dans le fichier comme le nom de l'auteur, la date de dernière mise à jour, etc.</p>
<b>Ingénierie système</b>	<p>L'ingénierie système vise à maîtriser la conception, la réalisation et la mise en œuvre d'une solution dans tout son cycle de vie : depuis l'expression de besoin jusqu'à l'exploitation, en passant par son acquisition.</p> <p>Un système totalement décrit est un ensemble d'entités physiques, non physiques, logiques participant à son fonctionnement. Ces entités sont reliées entre elles via des liaisons physiques, logiques ou via des processus ou des comportements possédant des propriétés communes. Les entités réunies en un même système répondent à un objectif fonctionnel commun, permettent d'expliquer le fonctionnement de l'ouvrage. Des exigences – opérationnelles, fonctionnelles, organiques - sont rattachées au système, ce qui induit le fonctionnement souhaité et la nécessité de construire des sous-systèmes. Ce processus est donc itératif en cascade.</p>
<b>Systèmes produit, service et projet</b>	<p>Il est usuel de distinguer : 1/ le système-produit ou description du système à développer, 2/ le système-services ou description de l'organisation en charge de l'exploitation et de la maintenance en condition opérationnelle du système-produit, et 3/ le système-projet ou description de l'organisation en charge de développer les trois systèmes.</p>

<b>Ingénierie système</b> <b>Vues et exigences</b>	<p>Les descriptions des systèmes font appel : 1/ à la vue opérationnelle décrivant le système, sans préjuger des solutions, en termes de ses interactions attendues ou non avec son environnement (tous tiers ou autres systèmes) y inclus, l'exploitant et le mainteneur, 2/ à la vue fonctionnelle décrivant les fonctions assurées par le système pour satisfaire les besoins opérationnels (c'est la une vision abstraite du système), 3/ à la vue organique décrivant concrètement les composants fabriqués ou construits supportant les fonctions à assurer. Ces trois vues doivent être satisfaisantes et cohérentes entre elles et avec le cycle de vie.</p> <p>L'ingénierie système développe ainsi tout au long d'un processus itératif toute une série d'exigences opérationnelles, fonctionnelles et organiques associées à tous les sous-systèmes et composants, pour tout le cycle de vie. Les processus associés sont ceux de l'ingénierie des exigences. Une fois toutes les exigences satisfaites, le système peut être considéré comme achevé.</p>
<b>Ingénierie système et normes</b>	<p>La norme ISO 15288 structure les activités d'ingénierie système en 4 familles de processus (techniques, de management, contractuels et d'entreprise). Le cycle de vie du système est défini dans la norme ISO 15288 comme l'évolution du système dont chaque phase correspond à une activité appartenant à une famille de processus techniques concernant différentes parties prenantes en fonctions de certaines attentes et contraintes.</p>
<b>eBOM</b>	<p><i>Engineering Bill Of Material</i>, nomenclature de définition, structure produit définie par les études et faisant foi en termes de conception.</p>
<b>Exigences</b>	<p>Besoin ou attente formulée qui peut être implicite, écrite (décrite) ou même obligatoire par une partie prenante.</p> <p>Une exigence formulée correctement doit être nécessaire, non ambiguë, cohérente, complète, précise, accessible et vérifiable.</p>
<b>IFC et STEP</b>	<p>Dans le monde des infrastructures le format d'échange IFC est celui à privilégier. Ce format d'échange de données ouvert (non-propritaire) permet d'échanger des données liées à un projet BIM, quels que soient les outils informatiques des divers acteurs.</p> <p>Le format IFC est basée sur la norme ISO 16739 et dispose d'un schéma de données accessible à tous sur le site building Smart International. Il est également conforme à la norme internationale STEP</p> <p><a href="https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/">https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/</a></p>
<b>mBOM</b>	<p><i>Manufacturing Bill Of Material</i>, nomenclature de production, structure produit obtenue à partir de la eBOM, éventuellement adaptée et complétée pour les besoins de la production.</p>
<b>Métadonnée</b>	<p>Les métadonnées (données sur les données) sont donc les informations associées aux documents gérés. Elles servent à qualifier les documents, leur apporter une information complémentaire qui soit exploitable. La métadonnée est directement utile en tant qu'information, mais surtout elle est la base des fonctions de recherche, ou de traitements sélectifs appliqués aux documents. Les métadonnées typiques incluent, par exemple : le titre, l'auteur, la description, la langue, la date de publication. Il existe des nomenclatures standard de métadonnées décrites dans des normes spécifiques ou non au PLM.</p>

<b>Nomenclature</b>	<p>La nomenclature d'un ensemble (système ou sous-système) est la liste des composants le constituant avec leur quantité, en adoptant une règle de décomposition donnée. Seuls les composants du niveau de décomposition retenu seront indiqués dans la nomenclature. Une nomenclature d'un niveau de décomposition est souvent représentée sous la forme d'un tableau.</p> <p>Les nomenclatures constituent l'un des piliers du système d'information qui décrit tous les composants dont l'identification, la dénomination – la référence – doit être partagée dans l'entreprise et les relations de composition entre eux.</p>
<b>Patrimoine</b>	<p>Dans ce document, usage réservé aux actifs et ouvrages du cadre bâti. Pour le dire autrement, tous les éléments de l'infrastructure statiques et qui ne rendent plus leurs fonctions lorsqu'ils « tombent par terre ».</p>
<b>Équipements</b>	<p>Dans ce document, usage réservé aux systèmes machines et outils hébergés dans le cadre bâti et permettant un usage dynamique du patrimoine. Pour le dire autrement, tous les éléments de l'infrastructure qui « tombent en panne ».</p>

## Sommaire des illustrations

Fig 1. Des projets complexes sur un temps long	4
Fig 2. Norme ISO 19650 : Les différents types d'exigences d'information	5
Fig 3. Le PLM : les processus / couverture fonctionnelle	14
Fig 4. Cycle de vie exploitation-maintenance	23
Fig 5. Architecture EAI	25
Fig 6. Architecture ESB	25
Fig 7. Norme iso 19650 : Perspective des stades de maturité de la gestion des informations analogiques et numériques	27
Fig 8. La GED est une des nombreuses fonctionnalités du PLM	32
Fig 9. Périmètre d'un jumeau numérique	35
Fig 10. Schéma JN Naval Groupe	35
Fig 11. Schéma JN EGIS	36
Fig 12. Représentation schématique du cycle de vie des chaussées et des processus	39
Fig 13. Exemple de décomposition d'une chaussée (source IFC Roads)	41
Fig 14. Exemples de structures de données (source UC2 MINnDs1)	41
Fig 15. Représentation schématique du cycle de vie des chaussées et des configurations PLM44	
Fig 16. Schéma directeur des méthodes et suivi pour un MCO des chaussées	45
Fig 17. Les exigences (MINnD S1 UC2)	48
Fig 18. Apport du PLM cycle de vie des chaussées	49
Fig 19. Analyse croisée des processus et procédés	49
Fig 20. Représentation schématique du cycle de vie des chaussées et des solutions « métier » sollicitées (INGEROP)	50
Fig 21. Étapes de déploiement d'une solution PLM	55