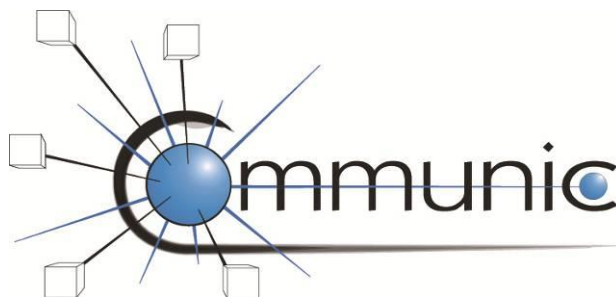


COMMUNIC

Livrables L1 - Modèle global

Version du 10/12/2010



Collaboration par la Maquette Multi-Usage
Numérique et l'Ingénierie Concourante



Sommaire

page

Présentation du livrable L1	3
COMMUNIC : un mémoire, trois livrables	3
Contenu des chapitres du livrable L1.....	4
Aide à la lecture	6
A – Description du modèle global d’un projet d’infrastructure.....	7
Introduction.....	8
A1 – Objets porteurs d’informations	10
A2 – Acteurs du projet.....	16
A3 – Processus pour créer et gérer les informations	18
B – Création de valeur par la MN	25
Introduction.....	26
B1 – Inventaire des attentes des acteurs directs	27
B2 – Synthèse de l’attente de création de valeur	32
B3 – Impacts sur les échanges et sur le coût des projets	38
B4 – Image <i>high tech</i> des TP	43
B5 – Atout concurrentiel à l’international	48
C – Structuration et circulation des informations	51
C1 – Structuration d’un projet en objets	52
C2 – Modèle de données	60
C3 – Échange et partage des informations	66
C4 – Processus de validation	73
C5 – Pertinence de l’information	84
D – Adaptation des organisations pour mettre en place une MN	91
Introduction.....	92
D1 – Management de projet	93
D2 – Autorisations externes.....	97
D3 – Conception	101
D4 – La construction	105
D5 – Exploitation.....	110
E - Redistribution des responsabilités	113
Introduction.....	114
E1 – Évolution des schémas contractuels.....	115
E2 – Le partage des responsabilités	120
E3 - Modalités de validation en ingénierie concourante	127
E4 - Propriété intellectuelle et savoir-faire.....	133
Annexe 1 : Valeurs et usages attendus par les acteurs directs	137
Annexe 2 : Synthèse des benchmarks	147

Présentation du livrable L1

COMMUNIC : un mémoire, trois livrables

Le projet COMMUNIC

Le projet de recherche s'appelle COMMUNIC pour *Collaboration par la Maquette Multi-Usages Numérique et l'Ingénierie Concourante*. Il a été retenu par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) suite à un appel à projet de 2006.

Ce projet a été labellisé par le **Pôle de compétitivité ADVANCITY**.

Le projet a **débuté en 2007** et a duré 3 ans.

Objet Son objet est de favoriser le développement du travail collaboratif dans les projets d'infrastructures par l'usage d'une maquette numérique (MN).

Partenaires Les partenaires du projet sont des :

- **Ingénieries** : EGIS et SETEC TPI.
- **Entrepreneurs** : Bouygues Travaux Publics, Vinci Construction France, Eiffage TP.
- **Centres de recherche et partenaires académiques** : le CSTB, le CRG (de l'école Polytechnique), le LCPC, l'Université Paris Est, et IREX.

Vue d'ensemble des travaux COMMUNIC

Les travaux de recherche effectués dans le cadre du projet de recherche COMMUNIC ont fait l'objet du présent mémoire qui résume le déroulement du projet et les résultats obtenus.

Afin de rendre plus pratique l'exploitation de ce mémoire, nous l'avons complété par 3 livrables qui :


- restituent plus en détail nos travaux,
- fournissent des points de vue particuliers sur nos conclusions.

Les livrables du projet COMMUNIC

Le tableau ci-dessous présente les 3 livrables :

Livrable	Titre	Mission	Contenu
L1	<i>Modèle global</i>	Décrire le modèle organisationnel et technologique qui supportera le travail collaboratif avec une maquette numérique partagée	Description globale du modèle. Valeurs et utilisations attendus. Structuration des informations et leur circulation. Adaptations des organisations. Redistribution des responsabilités.
L2	<i>Recommandations de mise en œuvre de la maquette numérique</i>	Lister les recommandations pour les acteurs concernés.	Outils. Projets. Entreprises. Secteur des TP. Conduite du changement.
L3	<i>Programme fonctionnel de la maquette numérique</i>	Destiné aux éditeurs de logiciels qui devront adapter ou créer les logiciels permettant l'utilisation de la maquette numérique.	Projets concernés. Système proposé avec les fonctionnalités attendues, l'architecture, le modèle de données et la standardisation.

Le secrétariat de rédaction et la correction finale ont été assurés par la société **Artecomm**, à l'aide de MRS, l'Écrit Intelligible®.

	L1 - Modèle global	Page 3 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

Contenu des chapitres du livrable L1

Les infrastructures concernées

Le modèle global, décrit dans ce livrable, a été établi par analyse des projets d'infrastructures linéaires. Il concerne ainsi directement, par exemple :

- routes,
- autoroutes,
- voies ferrées,
- canaux,
- infrastructures de transports urbains en site propre,
- ouvrages d'art et tunnels.

Réponse aux spécificités

Par rapport aux autres modèles que nous avons analysés dans d'autres secteurs plus industriels ou dans le bâtiment, il répond aux spécificités de ce type d'infrastructures avec, par exemple :

- Influence majeure de l'existant (terrain naturel, géotechnique du sous-sol, parcellaire).
- Longueur des projets qui peut atteindre plusieurs centaines de kilomètres.
- Structure du secteur des Travaux Publics et ses très nombreux acteurs.
- Importance de l'intégration environnementale.
- Nécessité de concertation avec les propriétaires, les riverains et les associations.

Note : Ce modèle doit être facilement transposable à d'autres infrastructures non citées plus haut.

Les limites du modèle décrit

Les travaux des partenaires ont conduit à l'élaboration de ce modèle. Nous avons essayé de le tester sur un projet réel. Ces tests nous ont confortés sur la nécessité d'évoluer vers ce schéma.

Toutefois nous n'avons pas pu conduire tous les tests que nous souhaitions car nous avons constaté des problèmes d'incompatibilité et de non interopérabilité des logiciels existants.

Nous avons développé des outils de contournement, mais ce handicap a fortement limité les tests. Il reste donc encore à faire des vérifications de faisabilité des solutions que nous envisageons.

Le modèle est donc un objectif que nous avons identifié et que nous jugeons réalisable, vs une solution validée par l'expérience et prête à l'emploi.

Description du modèle global d'un projet d'infrastructure

Le premier chapitre du livrable L1 décrit de manière succincte le module global.

Il permet de comprendre le principe de structuration du **projet en objets** qui porteront toutes les informations relatives au projet.

Il fournit également un inventaire des **attentes** des différents acteurs directs qui souhaitent disposer d'une MN pour un travail collaboratif sur les projets.

Il décrit enfin les **nouveaux processus** qui permettront de gérer les informations pour les rendre accessibles à tous les acteurs.

Création de valeur par la MN

Dans un deuxième chapitre, nous avons restitué les **valeurs** et les **usages** que les acteurs directs de la MN (maîtres d'ouvrages, concepteurs, constructeurs et exploitants) souhaitent voir fournir par la MN.

Nous avons aussi présenté une synthèse de l'inventaire, et sa restitution complète est fournie en annexe.

	L1 - Modèle global	Page 4 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

Structuration et circulation des informations

Le troisième chapitre décrit de manière plus précise comment :

- **Structurer** un projet **en objets** élémentaires et les organiser en niveaux pertinents.
- **Organiser** les **informations** et leur rattachement aux objets.
- **Échanger** et **partager** les informations entre acteurs.
- **Organiser** la **validité** des informations et la **qualité** des processus.

Adaptation des organisations

Dans le quatrième chapitre, nous décrivons les changements induits par le modèle sur les grandes missions qui constituent le cycle de vie de l'ouvrage.

En simplifiant, nous avons retenu 5 missions essentielles, sachant que d'autres découpages auraient été possibles.

Nous avons ainsi analysé les adaptations à prévoir concernant :

- Le **management** de projet qui concerne en particulier le maître d'ouvrage et la direction de projet.
- L'obtention des **autorisations externes**, c'est-à-dire la communication, les concertations et les approbations nécessaires à la conduite du projet. Cette mission incombe au premier chef au maître d'ouvrage et à la direction du projet.
- La **conception** du projet qui incombe aux concepteurs, et à laquelle tous les autres acteurs directs devront être associés.
- La **construction** du projet qui incombe aux constructeurs.
- L'**exploitation** de l'ouvrage qui incombe à l'exploitant.

Redistribution des responsabilités

Le cinquième chapitre restitue nos analyses sur les nouvelles répartitions des responsabilités induites par le travail collaboratif sur les projets et par l'utilisation d'une MN pour y parvenir.

Nous avons ainsi :

- comparé certains **schémas contractuels** mis en place sur les projets (traditionnels, PPP, D&B, concessions) ;
- apprécié le **partage des responsabilités** ;
- détaillé les **modalités de validation** en ingénierie concurrente ;
- fait un focus sur l'**impact contractuel** de l'usage d'une MN ;
- analysé les moyens de préserver les **propriétés intellectuelles** des acteurs intervenant sur le projet.

En annexe

Pour faciliter la lecture du document, nous joignons en annexe :

- Le tableau : valeurs et usages attendues par les acteurs directs.
- La synthèse des benchmarks.

Aide à la lecture

Sigles

Les sigles d'emploi fréquent dans le document sont explicités ci-dessous.

Sigle	Signification
APS	Avant projet sommaire
AVP	Avant projet
BE	Bureau d'études
BIM	<i>Building information modeling</i>
BTP	Bâtiment et travaux publics
CAO	Conception assistée par ordinateur
CCAG	Cahier des clauses administratives générales
CE	Contrôle externe
D&B	<i>Design and build</i>
DAO	Dessin assisté par ordinateur
DCE	Dossier de consultation des entreprises
GED	Gestion électronique de documents
IFC	<i>Industry foundation classes</i>
KM	<i>Knowledge management</i>
MN	Maquette numérique
MOA	Maître d'ouvrage
MOE	Maître d'œuvre
MOP	Maîtrise d'ouvrage publique
PLM	<i>Product life management</i>
PPP	Partenariat public privé
R&D	Recherche et développement
SaaS	<i>Software as a service</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SGBD	Système de gestion de base de données
SIG	Système d'information géographique
STEP	<i>STandard for the Exchange of Product model data</i>
TP	Travaux publics

Glossaire

Les termes métier dont la définition (inspirée de www.wikipedia.fr) est nécessaire à la compréhension du présent document sont repris dans le tableau suivant.

Terme	Définition
<i>Benchmarking</i>	Le benchmarking , en français référenciation, étalonnage ou parangonnage, est une technique de gestion de la qualité qui consiste à étudier et analyser les techniques de gestion, les modes d'organisation des autres entreprises afin de s'en inspirer et d'en retirer le meilleur.
<i>Building Information Modeling</i>	Le BIM couvre les processus de production et de gestion des données de construction tout au long de la conception d'un bâtiment.
<i>BuildingSmart</i>	Le site francophone de la maquette numérique dans le Bâtiment. http://www.buildingsmart.fr/
<i>Clash, Conflit, Interférence</i>	Ces trois termes sont utilisés de façon indifférenciée dans les livrables et le mémoire.
Géolocalisation	La géolocalisation ou géoréférencement est un procédé permettant de positionner un objet (une personne, une information...) sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques.
IFC	Le format IFC (<i>Industry Foundation Classes</i>) est un format de fichier orienté objet utilisé par l'industrie du bâtiment pour échanger et partager des informations entre logiciels.
<i>Open Source</i>	La désignation open source s'applique aux logiciels dont la licence respecte des critères précisément établis par l'Open Source Initiative, c'est-à-dire la possibilité de libre redistribution, d'accès au code source et de travaux dérivés. Souvent, un logiciel libre est qualifié d'« open source », car les licences compatibles open source englobent les licences libres selon la définition de la FSF. Le terme <i>open source</i> est en concurrence avec le terme « <i>free software</i> » recommandé par la FSF. Le terme « <i>freeware</i> » (gratuitiel) désigne des logiciels gratuits qui ne sont pas nécessairement ouverts ou libres.
Norme / Standard	Une norme (industrielle) est un référentiel publié par un organisme de normalisation comme Afnor, CEN, ISO, OASIS Un standard [...] un référentiel commun et documenté destiné à harmoniser l'activité d'un secteur.
STEP	Le standard pour l'échange de données de produit, STEP , ou ISO 0303 porte sur la représentation et l'échange de données de produits et a pour objectif d'intégrer les processus de conception, de développement, de fabrication et de maintenance de ces derniers.

A – Description du modèle global d'un projet d'infrastructure

Introduction.....	8
Les évolutions actuelles conduisent à repenser un modèle global.....	8
Trois angles de vue du modèle : objets, acteurs, processus	8
Un enjeu stratégique d'harmonisation des données	9
La variété des situations des acteurs.....	9
Les organisations profondément transformées par la MN.....	9
Les enseignements des <i>benchmarks</i>	9
A1 – Objets porteurs d'informations	10
Le principe de base du modèle global.....	10
Spécificités des infrastructures linéaires	10
Particularités des objets composant une infrastructure	11
Définition COMMUNIC du terme « objet »	12
Objets : éléments de base du <i>Project Data Management</i>	12
Caractéristiques d'un objet	12
Structuration du projet et de la MN.....	13
Exemple de structuration.....	14
A2 – Acteurs du projet.....	16
Trois catégories d'acteurs	16
Les acteurs directs	16
Les acteurs indirects	16
Les acteurs influents	17
A3 – Processus pour créer et gérer les informations	18
Référentiels de gestion et de développement	18
Processus hiérarchisés	18
Action des processus sur les informations rattachées aux objets	21
Formalisation des processus.....	23

Introduction

Les évolutions actuelles conduisent à repenser un modèle global

Il n'y a pas de standards appliqués par tous les logiciels du secteur

La MN pour justifier un standard commun

Trois angles de vue du modèle : objets, acteurs, processus

Les évolutions actuelles des pratiques de la construction résultent de :

- **Changements technologiques** par la mise en place d'outils informatiques au spectre et possibilités de plus en plus larges.
- La mise en place de **nouveaux cadres contractuels** : conception-construction, PPP, etc.

Des normes et des standards pour les modèles de données spécifiquement TP, au cœur des logiciels et bases de données modernes (normes ISO-IFC, STEP) sont établis depuis quelques années.

Les travaux sur ces normes et sur ces standards (en particulier les IFC pour les données techniques) sont conduits depuis plus de 10 ans avec la mobilisation de centaines de personnes à travers le monde. Leur pertinence n'est plus contestée aujourd'hui.

Certains outils utilisant ces standards sont déjà disponibles sur le marché.

Cette standardisation concerne très peu les outils des TP. À ce jour, les outils standardisés sont **imparfaits, peu interopérables** et surtout très **peu mis en œuvre**.

La généralisation d'un standard passe par un préalable : la **révision** de certaines étapes-clefs des processus, et en particulier, le recours à une MN collaborative. Il s'agit de l'abandon d'une démarche basée sur le simple échange de plans.

Dans l'analyse du modèle global d'un projet d'infrastructure, on a trois angles de vue :

- Approche par les **objets traités** et leur segmentation par niveaux de plus en plus détaillés, ainsi que leur validation.
- Approche par les **acteurs** :
 - **directs** (concepteurs, constructeurs, exploitants),
 - **indirects** (financeurs, fournisseurs, sous-traitants),
 - **influent** (élus, collectivités, administrations, associations, riverains, usagers, etc.).
- Approche par les **processus** (concevoir, construire, exploiter) et leur **sous-processus** détaillés qui font passer de la feuille blanche à l'ouvrage réalisé sur le terrain. Chaque processus peut être perçu comme une action qui modifie les attributs des objets ou en crée de nouveaux.

Un enjeu stratégique d'harmonisation des données

Compte tenu de la très grande variété des situations, les données techniques et leurs échanges numériques ne sont **ni facilités ni sécurisés**. Leur harmonisation sera la colonne vertébrale des nouveaux processus métiers.

C'est un facteur décisif d'amélioration en termes de **gains de temps**, de **qualité** en phases de conception et de construction, **d'économies** en phase d'exploitation.

La variété des situations des acteurs

Le secteur des TP est plus **fragmenté** et **moins hiérarchisé** que les autres filières industrielles. À chaque projet, les acteurs sont **nouveaux** et les partenariats se créent dans des logiques contractuelles extrêmement **variées**.

Dans l'industrie, on trouve souvent un concepteur-ensemblier qui fait appel pour la réalisation de ses produits à des sous-traitants de « rang un », eux-mêmes en charge d'une partie du produit.

Variété des maîtres d'ouvrage et des contrats

Dans le domaine des infrastructures linéaires, on trouve des maîtres d'ouvrage de **taille** et d'**organisation très variées** (État, sociétés d'autoroute, RFF, Conseils Généraux, etc.). Ils passent des **contrats de natures très diverses** (maîtrise d'œuvre puis construction, conception-construction, partenariat public-privé, concession) transférant selon les cas tout ou une partie de la responsabilité de la conception, de la construction, de l'exploitation, de la maintenance, voire du financement de leurs ouvrages.

Les organisations profondément transformées par la MN

L'émergence des gains, avec un impact positif pour la collectivité en productivité, délais et qualité, **provient d'un changement** dans les pratiques métiers, avec l'accompagnement et le support adéquats.

L'expérience des industriels montre que l'introduction des outils liés à la MN et au travail collaboratif transforme en profondeur les organisations.

Il convient donc de **repenser les processus** traduisant le fonctionnement de nos métiers et l'organisation de nos projets d'infrastructures.

Les enseignements des benchmarks

Les enseignements des *benchmarks* sont reportés en annexe.

A1 – Objets porteurs d'informations

Le principe de base du modèle global

L'objet de ce module est de présenter le principe de base du modèle global : **partager** entre tous les acteurs des informations sur un projet.

C'est une évolution très importante par rapport aux échanges actuels de documents qu'ils soient sur des supports papier ou électronique.

Rattacher les informations à des objets

Pour structurer ces informations et les localiser, nous avons décidé de les rattacher à des objets. Ils sont une décomposition plus ou moins détaillée de l'ouvrage construit par le projet.

Nous avons donc **structuré** le projet **en objets** porteurs d'informations adaptés aux infrastructures. Nous allons l'expliquer et le justifier par rapport au contexte spécifique des projets d'infrastructures.

Spécificités des infrastructures linéaires

Comparée aux industries manufacturières ou au bâtiment, la construction d'infrastructures linéaires présente de nombreuses spécificités parmi lesquelles nous pouvons noter les suivantes.

La linéarité et la longueur conditionnent la structuration des projets

Par définition, une **infrastructure linéaire** a une direction privilégiée. L'« axe projet » est un élément fondamental, que l'on ne retrouve pas par exemple dans un bâtiment. Actuellement, les objets qui constituent l'infrastructure linéaire sont souvent repérés relativement à cet axe (notion de point kilométrique). Il faut continuer à fournir ce repérage sans doute en double avec la géolocalisation des objets.

De plus, les projets s'étendent à l'échelle de la centaine de kilomètres. Ces **longueurs très importantes** ne se retrouvent dans aucun autre type d'ouvrage. Le repère de référence topographique doit ainsi être adapté à de telles longueurs. À titre d'exemple, la rotondité de la Terre ne peut être négligée sur une centaine de kilomètre.

Les conditions géotechniques et la topographie interagissent très fortement sur l'ouvrage

L'existant a un poids prépondérant dans la conception d'une infrastructure linéaire. Les systèmes d'information géographiques ont donc ici un rôle important dans la MN.

Le sous-sol et les conditions géotechniques qui lui sont attachées sont difficiles à connaître. En effet, elles varient tout au long de l'infrastructure et ne se précisent que pas à pas dans la vie du projet. Elles ne sont d'ailleurs jamais connues parfaitement, même après réalisation du projet.

De même, la topographie a une importance bien plus grande que pour un bâtiment sur un site donné. Les variations du relief constituent l'une des premières problématiques dans la conception d'une infrastructure linéaire.

L'environnement a un poids important et évolutif

L'organisation du chantier doit tenir compte de contraintes plus fortes concernant le foncier : libération progressive des emprises, déplacement du chantier (équipes et matériels) sur de grandes distances. La maquette ne doit pas seulement représenter un ouvrage fini, mais doit aussi rendre compte des **étapes successives** de la construction dans le temps.

Particularités des objets composant une infrastructure

Les objets produits sont multi-échelles

Après avoir évoqué les spécificités des projets d'infrastructures linéaires, nous pouvons évoquer les particularités des objets qui composent ces infrastructures par rapport à ceux de l'industrie manufacturière.

Les automobiles, les navires et les avions sont des objets tout au plus décamétriques. Les bâtiments et ouvrages d'art sont fréquemment hectométriques. Les infrastructures linéaires peuvent aborder l'échelle de la centaine de kms. Pourtant, les détails constructifs de certains objets sont centimétriques ou millimétriques comme pour les objets de l'automobile ou de l'aéronautique. La gestion des échelles est donc une **contrainte de conception**.

Les produits sont quasi-unique

Les projets s'insèrent dans des sites toujours particuliers. Cela rend les objets ou produits quasi-unique ou à répétitivité limitée. En complément du premier point, cela oblige donc à considérer, pour un même objet, la juxtaposition de :

- **Référentiels** :
 - de type géodésique,
 - « locaux » intuitifs et naturels pour telle ou telle partie de l'ouvrage.
- **Systèmes d'informations** géographiques et d'ouvrages.

Le produit est l'atelier de production

Mis à part quelques éléments préfabriqués en usine, la quasi-totalité des objets est fabriquée sur le terrain avec les matériaux locaux. Le produit, au cours de sa réalisation, est donc l'atelier même de la production. Cet atelier :

- n'est donc jamais un environnement d'exécution contrôlé.
- est nomade d'un projet à l'autre,
- est déplacé d'une partie d'un projet à une autre notamment dans les infrastructures linéaires.

On construit plus que l'on assemble

Les tâches d'**assemblage** sur chantier ne sont **pas majoritaires**. Même si le matériau est parfois préparé à l'extérieur (béton, enrobés, ballast), la fabrication de l'objet se fait sur place. On coule un tablier de pont sur place. En fait, on construit un pont, une route, plus qu'on ne l'assemble.

De plus, les **matériaux** utilisés sont **évolutifs**. Par exemple, on terrasse en ajoutant ou en déplaçant des matériaux qui foisonnent et qui tassent.

C'est pourquoi la **simulation** de la construction est une tâche bien plus **complexe** que l'assemblage industriel en atelier.

La maîtrise des incertitudes est une nécessité

Dans les secteurs industriels, il s'agit de maîtriser les **tolérances de fabrication** (en usine) des objets pour pouvoir les assembler. Pour les infrastructures, la notion de tolérance est profondément différente de celle adoptée par l'industrie manufacturière.

Le **milieu naturel local** dans lequel s'insère l'ouvrage n'est pas connu avec précision. Or, les objets créés sont liés à ce milieu. Leur définition doit donc tenir compte de cette incertitude et s'adapter à l'évolution de la qualité des données collectées. Le cas du terrain naturel illustre cette problématique.

La construction de l'infrastructure est fortement dépendante d'un grand nombre d'aléas. Par exemple, la **météorologie** est une donnée fondamentale de construction des objets de terrassement. Il faut donc que les objets sachent enregistrer ces aléas et s'adapter à leur évolution.

La **notion de flou** doit être gérée, car l'objet ne se définit qu'avec la progression de la conception. Par exemple, en début de conception, une protection acoustique n'est définie que dans son principe. Ce n'est qu'au fil des études que l'on saura si ce sera un merlon de terre, un mur antibruit ou une protection de façade.

La MN devra donc permettre de porter et de représenter (sans les figer) ces options.

Définition COMMUNIC du terme « objet »

Dans le projet COMMUNIC, le terme « objet » représente les **composants réels** qui ont été ou seront **construits** physiquement pour constituer l'ouvrage. Un objet occupe un volume défini, est positionné dans l'espace, et a des caractéristiques qui lui sont propres.

L'avantage de cette définition est son caractère réel dans l'ouvrage construit, qui permet de **comprendre facilement** de quoi on parle.

Lorsque des objets ont des caractéristiques communes suffisamment nombreuses, ils peuvent être regroupés en une même **classe** (être des individus d'une même classe).

Note : cette définition diffère de l'approche informatique du mot objet qui désigne d'une manière plus générale les éléments manipulés par les logiciels.

Objets : éléments de base du Project Data Management

L'objectif de la décomposition de l'ouvrage en objets est de pouvoir attacher les informations à ces objets.

Ces objets portant ces informations sont les éléments de base du « *Project Data Management* » (PDM) permis par la MN. Le PDM consiste à rendre des **informations accessibles** (et **modifiables**) aux différents contributeurs d'un projet sur un support unique.

Les échanges

Dans le domaine des infrastructures linéaires, le passage au PDM constitue une évolution fondamentale, qui induit la suppression :

- des échanges de **plans physiques**,
- des opérations de **ressaisie**.

C'est pourquoi la définition précise des objets est primordiale. L'échange d'informations entre les intervenants d'un projet d'infrastructure ne se fait plus « document par document » (plans papier) mais « **objet par objet** » (représentations virtuelles et partagées d'un objet physique).

Caractéristiques d'un objet

L'objet est caractérisé par :

- sa définition,
- ses attributs,
- ses liens avec les autres objets.

Définition

Il s'agit de préciser quel est son **volume**, c'est-à-dire ses surfaces extérieures ou celles communes avec les objets voisins. Ce volume définit sa forme. Il faut aussi le positionner dans l'espace. L'objet ainsi défini est donc **unique**.

Attributs

Il s'agit des **caractéristiques** qui lui sont **propres**.

Liens avec les autres objets

Il s'agit des **relations** que l'objet doit assurer ou respecter avec les autres objets de même niveau ou de niveaux différents. On parle aussi de :

- interfaces,
- associations,
- règles,
- lois.

Structuration du projet et de la MN

Structurer le projet en objets doit commencer dès le **début du projet**. Cela permet de stocker et de manipuler les premières informations comme les données de base et les études antérieures.

Structurer en niveaux

Afin de faciliter la manipulation des informations et de traiter des problématiques globales sans se perdre dans les détails, il est envisagé de structurer les objets de la MN en niveaux.

Partant du niveau zéro composé d'un seul objet pour l'ensemble du projet, on pourra créer des **niveaux croissants** (1, 2, 3, etc.) au fur et à mesure que les objets créés décrivent des **détails de plus en plus petits**.

Cela peut être considéré comme un principe qui se formule par :

- L'agrégation de tous les objets d'un niveau donné constitue l'ensemble du projet.
- Un objet de niveau n est l'agrégation physique des objets de niveau $n+1$ qui ont été créés en le découpant.

En général, les objets des niveaux les plus profonds ne sont pas créés au début du projet. Leur **création** est **progressive**, en fonction des besoins.

Ne pas confondre détail et précision

Les niveaux d'objets correspondent aux **niveaux de détail**. Ils ne peuvent être considérés comme propres à des niveaux d'études. Ils doivent d'abord, pour les premiers niveaux, **traduire une réalité économique** comme les :

- natures d'ouvrages fonctionnels,
- métiers concernés.

C'est seulement pour les niveaux les plus élevés que les objets de plus en plus détaillés peuvent traduire une avancée de la conception.

En revanche, la **précision** des informations attachées aux objets **augmente avec la conception**. Mais, cette précision est, à un moment donné, la même pour tous les niveaux.

Ce n'est pas parce que l'on s'intéresse à un détail sur un objet élémentaire que les objets plus globaux ne suivent pas l'évolution de la précision qui en résulte. La précision des objets du niveau 1 augmente au fur et à mesure que l'on travaille sur la précision des objets des niveaux 2, 3, 4 ou 5.

Exemple de structuration

Le cas présenté ci-dessous n'a pas valeur de recommandation obligatoire. Ce n'est qu'un exemple qui sera à adapter à chaque projet. Toutefois, nous pensons que les niveaux 0, 1 et 2 peuvent être généralisés à tous les projets.

L'exemple est tiré du projet de l'autoroute A 28.

Représentation de l'arborescence correspondante

Le positionnement de la RN 138 Chaussées de type 1 (ChT1) en section courante dans l'arborescence des objets en niveaux, est décrit ci-dessous.

Niveau	Objet concernés du niveau précédent	Objets
0	Patrimoine ALIS	Projet A 28 Autres projets du patrimoine
1	Projet A 28	RN 138 (le projet) Entité RN 138 Surface du TN (topo, parcellaire, occupation, etc.) Ruisseaux Ouvrages concédé, réseaux Voieries existantes (giratoires, etc.)
2	RN 138	Ouvrages d'art Terrassements Chaussées Réseaux de drainage Aménagements paysager Équipements
3	Terrassements	Remblais courant Déblais courant Dépôt Emprunt
4	Remblais courant	Corps du remblai Arase Drainante
5	Corps du remblai	Des couches élémentaires

Niveau 0 Le niveau 0 représente l'objet dans son **ensemble** (l'opération, le projet, la zone concernée). Pour la A 28, il s'agit de l'ensemble des ouvrages à construire pour réaliser le projet de l'autoroute A 28.

Niveau 1 Le niveau 1 représente les objets qui permettent d'assurer une fonction, un service attendu. Pour la A 28 :

Objets de niveau 1	Fonctions à assurer
Autoroute	Assurer la circulation automobile sur l'autoroute
RN138	Maintenir la circulation automobile sur la RN 138
Ligne EDF	Assurer le transport électrique au travers du projet
Ruisseau	Assurer l'écoulement des eaux du ruisseau
Sol support	Supporter le projet

A – Description du modèle global d'un projet d'infrastructure

A1 – Objets porteurs d'informations (suite)

Exemple de structuration (suite)

Niveau 2 Les objets qui font appel à une nature de travaux, à un métier du secteur.
Pour le rétablissement de la RN 138 :

Objets de niveau 2	Réalisateurs des ouvrages
Ouvrages d'art	Entreprises spécialisées en ouvrages d'art
Terrassements	Entreprises de terrassements
Réseaux de drainage	Entreprises d'assainissement
Chaussées	Entreprises spécialisées en chaussées

Niveau 3 Les objets ouvrages élémentaires qui composent une même nature de travaux ou métiers. Pour les terrassements de la RN 138 :

Objets de niveau 3	Spécificité
Remblai courant	Besoin de matériaux
Déblai courant	Source de matériaux
Dépôt	Stockage de matériaux non utilisés par la RN138
Emprunt	Source de matériaux externes nécessaires à la réalisation de la RN 138
Remblai contigu	La nature et la mise en œuvre sont différents des remblais courants

Niveau 4 Les objets qui font appel à des dispositions constructives différentes.
Pour un remblai des terrassements de la RN 138 :

Objets de niveau 4	Spécificité
Corps du remblai	Mise en œuvre courante
Arase	Nature des matériaux et mise en œuvre spécifique dans la partie supérieure du remblai.
Couche drainante	Nature des matériaux évitant les remontées d'eau

Niveau 5 Les objets qui font appel à des spécifications de mise en œuvre, d'exécution.
Pour le corps d'un remblai, des terrassements de la RN 138 :

Objets de niveau 5	Spécificité
Une couche élémentaire	Nature réelle des matériaux et spécifications de mise en œuvre associées

A2 – Acteurs du projet

Trois catégories d'acteurs

Par acteur, nous entendons toute personne, toute entité ou groupe de personnes qui a un rôle dans le cycle de vie d'une infrastructure (conception, construction, exploitation).

Trois catégories d'acteurs sont distinguées par le projet :

- directs,
- indirects,
- influents.

Les acteurs directs

Les acteurs directs ont la **responsabilité directe** dans la conception, la construction et/ou l'exploitation de l'infrastructure. Ils créent la majeure partie de l'information et apportent de la valeur ajoutée à la MN, pendant la globalité du cycle de vie du projet.

Ils constituent une catégorie spécifique car leurs missions sont majeures et leurs interventions nécessitent des échanges nombreux d'informations.

La **collaboration** entre ces acteurs est rendue **stratégique** par les enjeux tant en terme de coûts qu'en terme de délais.

Si l'on souhaite qu'une MN facilite le travail collaboratif, ces acteurs directs doivent pouvoir utiliser directement cette maquette.

Acteurs majeurs

Quatre acteurs majeurs composent cette catégorie :

- concepteurs,
- constructeurs,
- exploitants,
- maître d'ouvrage (MOA).

Les acteurs indirects

Les acteurs indirects interviennent pour un des acteurs directs. Ils favorisent le travail collaboratif. Pour COMMUNIC, ils n'ont pas obligatoirement un accès direct à la MN mais passent par un acteur direct.

La frontière entre les acteurs directs et indirects n'est donc pas définie a priori. C'est le volume de leurs interventions et l'intérêt, la nécessité ou la possibilité de fluidifier la circulation des informations qui sont déterminants.

L'évolution des technologies et la diffusion de l'usage de la MN conduisent sans doute à un accès de plus en plus large de ces acteurs indirects à la MN.

Acteurs majeurs

Les acteurs majeurs qui composent cette catégorie sont les :

- bailleurs de fonds,
- consultants,
- financeurs,
- fournisseurs (données des concepteurs, matériaux),
- prestataires du MOA (contrôles extérieurs, CSPS, conseils),
- sous-traitants de concepteurs (et BE sous-traitants).

Les acteurs influents

Il s'agit de tous les autres acteurs, aussi appelés parties prenantes, qui doivent connaître la conception, la construction ou l'exploitation de l'infrastructure. Ils n'utilisent pas la MN en tant que telle mais sont informés et convaincus grâce à elle.

Acteurs majeurs

Les acteurs majeurs qui composent cette catégorie sont les :

- acteurs économiques,
- administrations,
- associations,
- collectivités,
- éditeurs de logiciels,
- fédérations professionnelles,
- riverains.

A3 – Processus pour créer et gérer les informations

Référentiels de gestion et de développement

Plusieurs référentiels de gestion de projet et de développement de nouveaux produits sont proposés dans la littérature scientifique et professionnelle. Cependant, ils sont **très génériques** et **insuffisamment détaillés** pour les projets en mode dispersé et collaboratif.

Contexte particulier : la construction

Dans le contexte particulier des entreprises de construction, l'étude des processus collaboratifs se traduit par :

- l'analyse de la chaîne de valeur de l'activité afin de déterminer les gains potentiels des outils collaboratifs,
- une étude fine des processus de travail, modifiés par la performance des échanges numériques.

Le travail en plateau numérique (= plateau projet doté d'une MN collaborative) permet-il une véritable « co-conception » ?

On peut le supposer, en effet les acteurs travaillent conjointement sur le projet vs une « conception distribuée », forme faible de la coopération où les acteurs travaillent simultanément mais non conjointement.

La question des conflits (inter-métiers) et des limites de l'ingénierie collaborative (dilution du leadership, nature des résultats à obtenir et des contrôles à exercer plus confus, échange de savoirs tacites plus difficile...) est sous-jacente.

Processus hiérarchisés

Les processus peuvent être hiérarchisés en **trois niveaux de détails croissants** :

- macro-processus,
- processus,
- sous-processus métiers.

Les trois niveaux

Bien que pouvant très largement se chevaucher, ils se caractérisent chacun par un acteur direct prépondérant :

- **concevoir** => bureau d'études du concepteur ;
- **construire** => constructeur ;
- **exploiter** => exploitant.

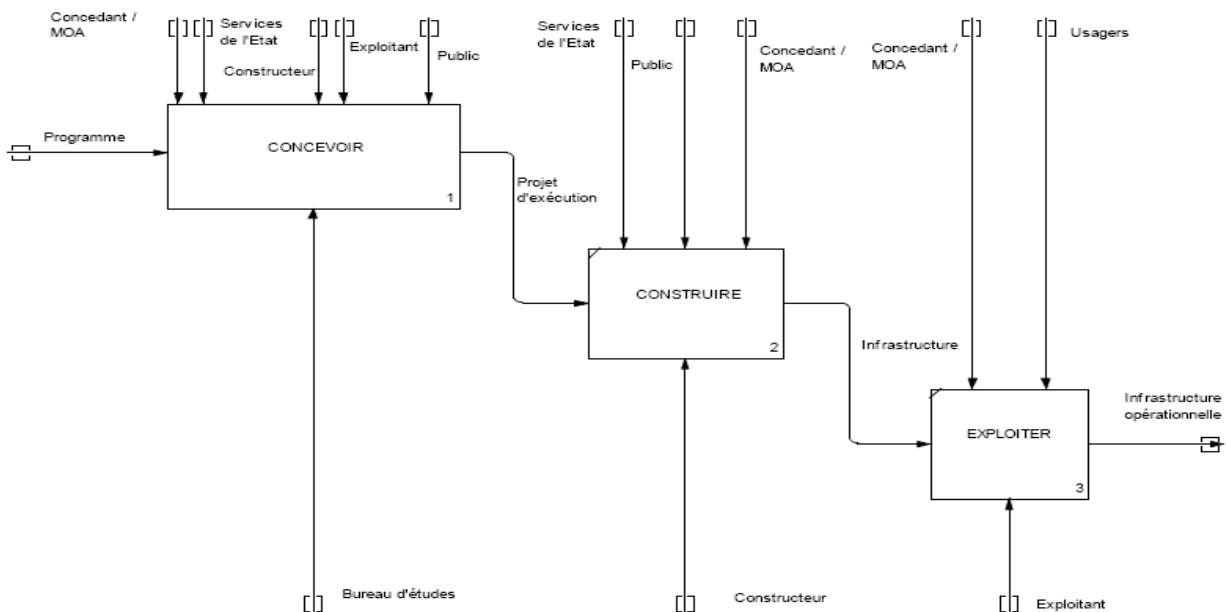


Figure A3 - 1: Macro-Processus global d'un projet d'infrastructure

Décomposition des macro-processus

Chacun des macro-processus se compose de plusieurs processus qui se complètent et interagissent. L'introduction des outils numériques de type maquette auront tendance à **accentuer le caractère itératif** de ces processus en phase amont (études).

Notons que le processus « maître » diffère selon le type d'infrastructure :

Infrastructure	Processus maître
Linéaire routière	Le processus « étude de la géométrie » gouverne les autres processus métier.
Ferroviaires	Les études des équipements (signalisation, voie, caténaire, etc.) dictent le champ des possibilités pour les autres métiers.

Ces processus maîtres peuvent être considérés comme :

- **processus**, compte tenu de leur position centrale ;
- **sous-processus métiers**, compte tenu de leur caractère spécialisé.

Il y a donc une certaine liberté dans la structuration du projet en processus et c'est sur chaque projet qu'il faudra décider de cette structuration.

On peut citer comme exemple de processus :

- étudier une solution (Figure A3 - 2),
- choisir la solution de référence,
- acquérir et libérer les emprises
- obtenir les autorisations administratives,
- établir les documents d'exécution.

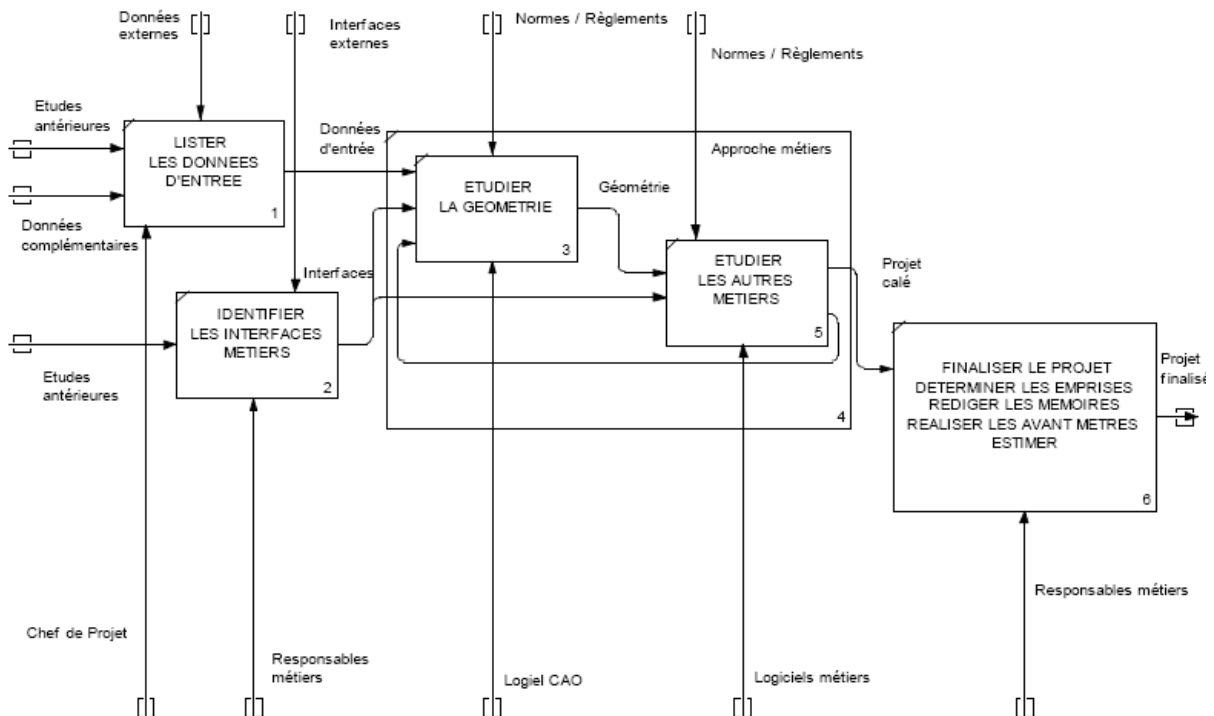


Figure A3 - 2 : Exemple du processus "étudier une solution" (au sein du macro-processus « concevoir »)

**Sous-processus
métier**

À l'intérieur de chaque processus, plusieurs métiers interviennent. Ces interventions métier sont planifiées par des sous-processus qui peuvent être par exemple, l'étude :

- de la **géométrie** (avec la réserve vue ci-dessus),
- des ouvrages d'art (OA),
- des ouvrages hydrauliques (OH),
- des **terrassements** (Figure A3 - 3)

Lorsque les données d'entrée sont calées, ces processus se déroulent de façon assez indépendante des autres métiers.

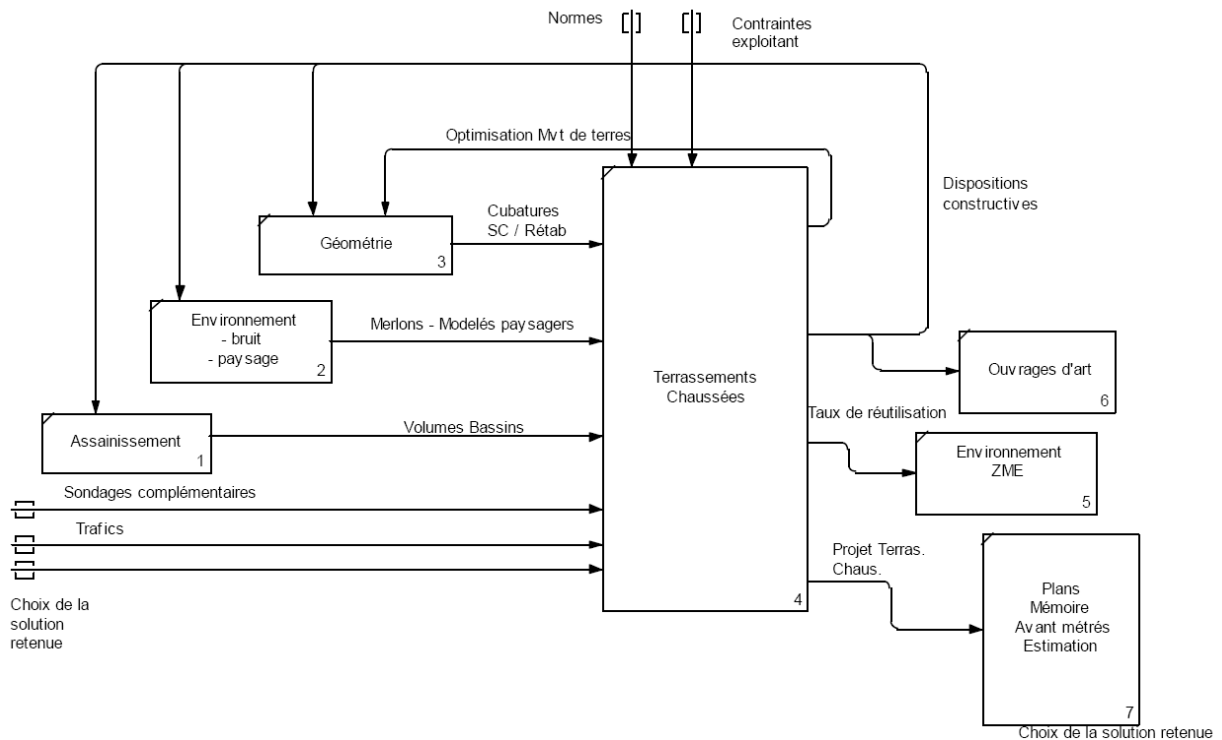


Figure A3 - 3 : Sous-processus métier terrassement-chaussée au sein du processus "étudier les autres métiers"

A – Description du modèle global d'un projet d'infrastructure

A3 – Processus pour créer et gérer les informations (suite)

Action des processus sur les informations rattachées aux objets

Les réflexions sur les processus et les objets doivent être rapprochées pour mettre en évidence l'action des différents processus sur les informations des objets :

Les objets sont caractérisés par :

- une **définition** (fonctionnelle, géométrique, métier),
- des **attributs** propres à l'objet,
- des **liens** ou **règles de liaisons** avec d'autres objets.

Exemple d'informations rattachées à un objet

On trouve ci-dessous les caractéristiques de l'objet *Chaussée* de type 1 en section courante de la RN 138.

Définition	
Métier	Objet de la RN 138 qui supporte la circulation des véhicules. Les chaussées sont un domaine de connaissance et de savoir faire.
Géométrique	L'objet <i>Chaussée</i> est limité par la plateforme support de chaussée en partie inférieure (limite supérieure des terrassements), les accotements et l'assainissement latéralement. Le niveau fini est donné par la géométrie (profil en travers – profil en long – dévers).

Attributs propres à l'objet	
Données de conception (toujours stockées)	Implantation et définition des volumes (axes, profils en long, largeurs, dévers, etc.). Nature des couches de chaussée. Trafics supportés. Niveau de service attendu. Caractéristiques de la plateforme support de chaussée. Indice de gel admissible de la chaussée.
Informations stockées	Quantités. Cadres d'estimations.
Informations calculables en temps réel	Coûts. Plannings.

Liens ou règles de liaisons avec d'autres objets	
Géométrique	La géométrie est liée à la géométrie de la RN 138 (PT-PL) et aux terrassements (niveau fini).
Fonctionnelles	La structure de chaussée doit : <ul style="list-style-type: none"> • Supporter le trafic attendu. • Tenir compte des caractéristiques de la couche de forme. L'indice de gel admissible doit être cohérent avec : <ul style="list-style-type: none"> • niveau de service attendu (pose éventuelle de barrières de dégel), • indice de gel atmosphérique. Respect des normes (circulaire adhérence, etc.).
Hydrauliques	La géométrie des chaussée doit permettre l'écoulement des eaux y compris pendant la construction.
Environnementales	Les travaux de chaussées doivent respecter les engagements environnementaux.
De réalisation	Les remblais, les déblais et la couche de forme doivent s'intégrer dans le projet général de terrassement (équilibre des volumes déblais/remblais, mouvement des terres, etc.).

A – Description du modèle global d'un projet d'infrastructure

A3 – Processus pour créer et gérer les informations (suite)

Action des processus sur les informations rattachées aux objets (suite)

Les processus doivent définir les informations rattachées aux objets

D'après notre analyse, nous concluons que les processus ont pour finalité de définir ou de modifier les informations rattachées à un (des) objet(s). C'est un changement important car nous avons plutôt l'habitude de considérer comme sortants d'un processus des plans, des notes de calcul, des mémoires, des métrés, etc.

Cette évolution confirme le besoin d'avoir un **outil central** de stockage, de gestion et de visualisation de toutes ces informations. C'est la fonction première et synthétique de la MN, cœur de notre modèle global.

Le schéma ci-après illustre par un exemple comment un processus :

- récupère, dans la MN, certaines informations dont il a besoin,
- puis stocke de nouvelles informations dans cette MN.

Certains liens, notamment géométriques, peuvent être **contrôlés** directement par :

- la MN (*clash-test* pour la géométrie, vérification d'application des normes),
- des simulations métier.

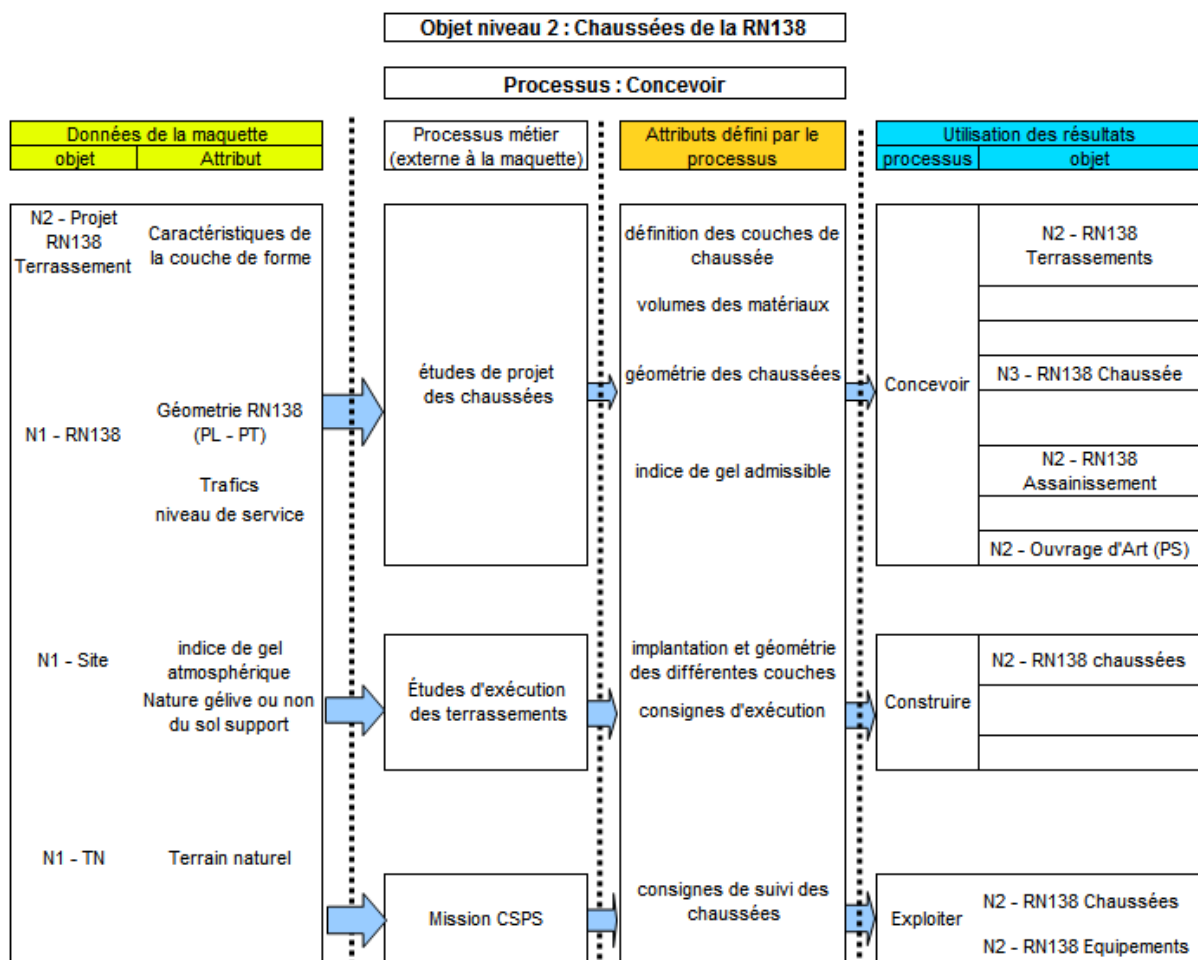


Figure A3 - 4 Exemple de transformation des informations par les processus

Formalisation des processus

Il existe de nombreuses façons de représenter les processus. La formalisation des processus a pour objet de :

- préciser les **entrants** et les **sortants** (données d'échanges avec la MN, ce que la MN doit conserver : variantes) ;
- identifier les :
 - **liens** et **interfaces** entre processus (ou tâches du processus) ;
 - **acteurs** ou groupes d'acteurs ;
 - **contraintes** ou **contrôles** s'exerçant sur la réalisation des processus ;
- intégrer la **dimension temps** ;
- lister les **outils métier** devant être interfacés avec la maquette (modèles de terrain, outils de conception, outils de calcul et de simulation, outils de communication et de représentation, ...) ;
- évaluer, à terme, la **valeur ajoutée** du travail collaboratif autour d'une MN (faciliter et fiabiliser les échanges).

Méthode SADT

Les exemples présentés ci-dessus sont tirés de la méthode SADT avec à gauche les données d'entrée et à droite les éléments sortants. En haut sont répertoriées les contraintes à respecter et en bas les ressources à mobiliser.

Fiche de définitions

La description de chaque processus peut aussi être complétée par une fiche de définition des :

- **Entrants** (et **processus associés**) qui conditionnent les informations que l'on doit trouver dans la maquette pour permettre les échanges.
- **Contrôles** (extérieurs et interfaces avec les autres processus) qui sont susceptibles d'être effectués par la MN ou des outils spécifiques qui lui sont attachés (contrôle de compatibilité géométrique, vérification de norme).
- **Ressources** qui sont les moyens humains et les logiciels. Ces derniers définissent les conditions d'interopérabilité avec la MN.
- **Sortants** que le processus doit fournir avec les objets concernés et les processus qui les utiliseront.

Un exemple de fiche est présenté ci-après. Les présentations peuvent être adaptées en fonction du projet.

A – Description du modèle global d'un projet d'infrastructure

A3 – Processus pour créer et gérer les informations (suite)

Formalisation des processus (suite)

Fiche de définitions (suite)

PROCESSUS : ETUDES DE PROJET		Activité : 1-Géométrie																													
DONNÉES D'ENTRÉE																															
Etudes antérieures Avant projet (solution retenue) DUP, engagements MOA...	Données issues des autres activités																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Activité source</th> <th>Type de donnée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Etudes complémentaires demandées à l'issue de l'AVP</td> <td>levées topo complémentaires</td> </tr> </tbody> </table>	Activité source	Type de donnée	Etudes complémentaires demandées à l'issue de l'AVP	levées topo complémentaires																										
Activité source	Type de donnée																														
Etudes complémentaires demandées à l'issue de l'AVP	levées topo complémentaires																														
CONTRÔLES																															
Contrôles extérieurs Normes géométriques (ARP, ICTAAL, ICTAVRU...) Contraintes du MOA / Exploitant (PT type, catégorie de la voie, convois exceptionnels...) Gabarits routiers Trafic Réseaux																															
Contrôles exercés par les autres activités																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Activité source</th> <th>Type de donnée</th> <th>Contrôle à effectuer</th> <th>Incidence</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ouvrages d'art</td> <td>Epaisseur de la dalle</td> <td>Gabarit</td> <td>Reprise profil en long</td> </tr> <tr> <td>Mouvement de terre</td> <td>Cubatures</td> <td>Equilibre mouvement de terre</td> <td>Reprise profil en long</td> </tr> <tr> <td>Environnement</td> <td>Présence de protections acoustiques (merlons,</td> <td>Visibilités</td> <td>Profils en travers (Dégagements latéraux)</td> </tr> <tr> <td>Assainissement</td> <td>Rétablissement</td> <td>Couverture sur OH</td> <td>Reprise profil en long</td> </tr> <tr> <td>Equipements</td> <td>Dispositifs de retenue</td> <td>Visibilités</td> <td>Profils en travers (Surlargeurs)</td> </tr> <tr> <td>Signalisation</td> <td>Implantation signalisation de direction</td> <td>Respect des distances de signalisation visibilité sur panneaux</td> <td>Reprise géométrie en plan</td> </tr> </tbody> </table>	Activité source	Type de donnée	Contrôle à effectuer	Incidence	Ouvrages d'art	Epaisseur de la dalle	Gabarit	Reprise profil en long	Mouvement de terre	Cubatures	Equilibre mouvement de terre	Reprise profil en long	Environnement	Présence de protections acoustiques (merlons,	Visibilités	Profils en travers (Dégagements latéraux)	Assainissement	Rétablissement	Couverture sur OH	Reprise profil en long	Equipements	Dispositifs de retenue	Visibilités	Profils en travers (Surlargeurs)	Signalisation	Implantation signalisation de direction	Respect des distances de signalisation visibilité sur panneaux	Reprise géométrie en plan			
Activité source	Type de donnée	Contrôle à effectuer	Incidence																												
Ouvrages d'art	Epaisseur de la dalle	Gabarit	Reprise profil en long																												
Mouvement de terre	Cubatures	Equilibre mouvement de terre	Reprise profil en long																												
Environnement	Présence de protections acoustiques (merlons,	Visibilités	Profils en travers (Dégagements latéraux)																												
Assainissement	Rétablissement	Couverture sur OH	Reprise profil en long																												
Equipements	Dispositifs de retenue	Visibilités	Profils en travers (Surlargeurs)																												
Signalisation	Implantation signalisation de direction	Respect des distances de signalisation visibilité sur panneaux	Reprise géométrie en plan																												
RESSOURCES																															
Humaines Ingénieur tracé - projeteur		logiciels CAO (Macao, MX, piste...)																													
DONNÉES DE SORTIE																															
Portée générale Vue en plan Profil en long Profils en travers types Cahier de profils en travers		Ciblées																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Activité concernée</th> <th>Type de donnée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ouvrages d'art</td> <td>Point le plus contraignant en gabarit Eléments d'axes (plan et PL) PT et coupe section courante et</td> </tr> <tr> <td>Mouvement de terre</td> <td>Cubatures</td> </tr> <tr> <td>Environnement (bruit)</td> <td>Modèle 3D (Projet + TN)</td> </tr> <tr> <td>Assainissement (de plateforme)</td> <td>Pentes, points hauts, points bas du profil en long Surfaces chaussées et talus</td> </tr> <tr> <td>Hydraulique (rétablissement des écoulements naturels)</td> <td>Coupe au niveau de l'OH</td> </tr> <tr> <td>Equipements (dispositifs de retenue)</td> <td>Géométrie en plan (rayons inférieurs à x mètres) Hauteur des remblais</td> </tr> <tr> <td>Equipements (clôtures)</td> <td>Emprises (entrées en terre)</td> </tr> <tr> <td>Signalisation</td> <td>Position des points caractéristiques (E=1.00m; S=1.50m..)</td> </tr> </tbody> </table>	Activité concernée	Type de donnée	Ouvrages d'art	Point le plus contraignant en gabarit Eléments d'axes (plan et PL) PT et coupe section courante et	Mouvement de terre	Cubatures	Environnement (bruit)	Modèle 3D (Projet + TN)	Assainissement (de plateforme)	Pentes, points hauts, points bas du profil en long Surfaces chaussées et talus	Hydraulique (rétablissement des écoulements naturels)	Coupe au niveau de l'OH	Equipements (dispositifs de retenue)	Géométrie en plan (rayons inférieurs à x mètres) Hauteur des remblais	Equipements (clôtures)	Emprises (entrées en terre)	Signalisation	Position des points caractéristiques (E=1.00m; S=1.50m..)											
Activité concernée	Type de donnée																														
Ouvrages d'art	Point le plus contraignant en gabarit Eléments d'axes (plan et PL) PT et coupe section courante et																														
Mouvement de terre	Cubatures																														
Environnement (bruit)	Modèle 3D (Projet + TN)																														
Assainissement (de plateforme)	Pentes, points hauts, points bas du profil en long Surfaces chaussées et talus																														
Hydraulique (rétablissement des écoulements naturels)	Coupe au niveau de l'OH																														
Equipements (dispositifs de retenue)	Géométrie en plan (rayons inférieurs à x mètres) Hauteur des remblais																														
Equipements (clôtures)	Emprises (entrées en terre)																														
Signalisation	Position des points caractéristiques (E=1.00m; S=1.50m..)																														

Figure A3 - 5: Exemple de fiche de définition du processus « étude de la géométrie »

B – Création de valeur par la MN

Introduction.....	26
Apport du modèle global	26
Ce que doit permettre la MN	26
Indicateurs à définir.....	26
B1 – Inventaire des attentes des acteurs directs	27
Les attentes de tous les acteurs	27
Acteurs concernés : acteurs directs.....	27
Les tableaux des attentes par acteur.....	27
Attentes des maîtres d’ouvrage	28
Attentes des concepteurs	29
Attentes des constructeurs	30
Attentes des exploitants	31
B2 – Synthèse de l’attente de création de valeur	32
La MN permet le travail collaboratif	32
La MN, outil de structuration	34
La MN, outil de visualisation	35
La MN, outil d’aide à l’optimisation.....	36
La MN, outil d’archivage et de capitalisation.....	37
B3 – Impacts sur les échanges et sur le coût des projets	38
Intensité des échanges	38
Réduction des coûts du projet.....	41
Coûts générés par le travail collaboratif et la MN	42
B4 – Image <i>high tech</i> des TP	43
La MN, outil de compétition économique	43
La MN, outil d’attraction des talents	46
La MN, outil de « coopération » intra-sectorielle.....	47
La MN, outil de participation et de dialogue sociétal.....	47
B5 – Atout concurrentiel à l’international	48
La MN, outil différenciateur pour le marché international de grands ouvrages complexes	48
La MN, outil de promotion et de marketing.....	49

Introduction

Apport du modèle global

Avant d'analyser et d'organiser le travail collaboratif s'appuyant sur une MN traitant de projets d'infrastructure, il est primordial de comprendre quel apport on peut attendre de ce modèle.

Au premier abord, les attentes restent souvent focalisées sur une **meilleure compréhension** du projet à réaliser et sur la communication avec les autres intervenants.

Critères d'analyse

Compte tenu des changements nécessaires, le modèle global et la MN doivent être justifiés par des **gains plus globaux** que nous analysons dans ce chapitre.

Nos critères d'analyse ont été les suivants :

- Quelles sont les **attentes des acteurs directs** auxquelles le modèle global apporte une réponse ?
- Quelles sont les **créations de valeur attendues** ?
- Le modèle permet-il de réduire les **coûts** des projets ?
- La MN peut-elle donner une **image High Tech** au secteur TP ?
- Le modèle global procure t-il un **atout concurrentiel** du secteur à l'international ?

Ces cinq aspects sont analysés dans les modules ci-après.

Ce que doit permettre la MN

Les attentes de chaque acteur sont les réponses aux questions suivantes :

- Quels **services** en attend-il ?
- Que souhaite-t-il y **trouver** ?
- Quelles **valeurs** pourrait-il y **apporter** (pour lui-même ou un autre acteur) ?
- Quelles **valeurs déposées** par un autre acteur pourrait-il en tirer ?

C'est ce que nous avons appelé « Création de valeurs par la MN » que nous avons précisé par un commentaire.

Pour cela, il est nécessaire de recenser :

- **Usages attendus.** Ce sont toutes les fonctions et les services que pourraient remplir une MN collaborative, leurs emplois et leurs destinations.
- **Valeur de ces usages.** C'est l'estimation de l'importance attachée à chaque usage, avec si possible le moyen d'apprécier cette valeur.

Pour cela, nous avons distingué les différents groupes d'acteurs d'un projet, afin de bien séparer les attentes, mais aussi afin de tenter d'être le plus complet possible.

Vis-à-vis de qui est-ce une valeur ?

La valeur attendue par l'acteur concerné lui permet **d'améliorer son action** vis-à-vis des autres acteurs. Nous les avons listés pour chacune des valeurs.

Les spécifications de la MN

Chaque valeur est caractérisée par des spécifications que la MN doit prendre en compte. Nous les avons listées.

Indicateurs à définir

Usages et valeurs attendues d'un usage doivent être caractérisés. Cette caractérisation permet de juger de la **qualité globale** de la MN. Pour cela, il est nécessaire de définir :

- un ou plusieurs indicateurs quantifiables de **performance**.
- les indicateurs nécessaires pour évaluer la **qualité globale de la MN**.



B1 – Inventaire des attentes des acteurs directs

Les attentes de tous les acteurs

L'usage de la MN repose sur la **confiance** entre les acteurs.

Le propriétaire de la MN doit être identifié

Tous les acteurs attendent d'identifier clairement à qui appartient la MN et comment sont garantis ses propriétés intellectuelles et son savoir faire. Il convient donc de préciser dans les spécifications :

- l'administration des **droits d'accès**,
- la **gestion des données** privées et des données publiques.

La réelle séparation de la maquette partageable et des maquettes métier propriétaires sera l'indicateur de performance.

Le coût d'usage fixe le droit d'entrée

Pour pouvoir s'engager dans l'usage de la MN, les acteurs doivent apprécier les coûts directs et leur répartition pour :

- **mise en place**,
- **gestion**,
- **maintenance**,
- **archivage**.

Acteurs concernés : acteurs directs

Parmi les trois grands groupes d'acteurs listés au module A2, nous avons travaillé uniquement sur les attentes de chacun des types d'acteurs directs : concepteurs, constructeurs, exploitants, maître d'ouvrage. Ces acteurs créent de l'information et apportent, au moyen de leur expertise, de la valeur ajoutée.

Les acteurs indirects ou influents n'ont pas été pris en compte. En effet, l'étude de leurs usages et de leurs valeurs montre qu'ils ne sont guère pertinents et sont souvent redondants avec les tableaux des acteurs directs.

Les tableaux des attentes par acteur

Des tableaux ont été établis pour lister les valeurs et usages attendus par acteur direct. Jugés trop volumineux pour être insérés dans le texte du livrable, ils sont présentés sous forme de résumé. L'intégralité est reportée en annexe.

La finalité des colonnes de ces tableaux est présentée ci-dessous.

#	Code identifiant
Valeur et usages	Ce que la MN collaborative permet de faire.
Commentaire	Précise et explicite les valeurs et usages.
Vis-à-vis de qui ?	La valeur est attendue par l'intervenant lui-même, et parfois par un autre intervenant.
Caractérisation	L'usage se traduit par les spécifications suivantes, des critères de valeurs qu'il faut ensuite quantifier.
Performance	Critères d'évaluation des spécifications, des indicateurs de performance mesurables, quantifiables ou comparables à des valeurs à atteindre, des seuils critiques ou des niveaux d'excellence.

Note : « *client* » représente l'entité commanditaire du projet.

L'utilisation des résultats

Les résultats de ces tableaux ont permis en particulier de :

- **Étoffer** :
 - Structuration des informations.
 - Organisation des échanges.
 - Descriptions des processus collaboratifs.
 - Adaptation des responsabilités.
- **Compléter** les scènes des démonstrations réalisées, afin de mieux expliciter les objectifs ou finalités à atteindre pendant la démonstration.

**Attentes des
maîtres d'ouvrage**

Nous listons ci-après les attentes des maîtres d'ouvrages.

#	Valeur et usages attendus	Commentaire
2.1	Optimiser l'allotissement entre les acteurs	Avoir une vue d'ensemble du projet. pouvoir simuler des projets partiels. Décrire les interfaces et les liens entre acteurs.
2.2	Être informé	Suivre l'état du projet en termes de : <ul style="list-style-type: none"> • coût, • avancement, • risques, • conflits et désaccords.
2.3	Maîtriser ses risques	Identifier (accès organisé aux données). Évaluer par simulation. Gérer et Traiter les risques par simulation.
2.4	Suivre son planning (le projet)	Voir l'avancement par affichage des états 4D (retards). Simuler des stratégies globales. Analyser les alternatives.
2.5	Évaluer globalement le projet (impacts)	Avoir une vision holistique. Disposer de synthèses des impacts qui facilitent la prise en compte des aspects environnementaux – sociétaux – économiques. Capitaliser.
2.6	Faciliter les concertations	Création de la conviction des administrations et des riverains. Vulgarisation.
2.7	Faciliter les approbations par les autorités	Faciliter l'instruction des dossiers par une meilleure présentation de la conception. Aider à la présentation. Visualiser le suivi des formalités administratives.
2.8	Approuver la conception	Mieux comprendre la conception Avoir une vision globale et pouvoir coordonner. Simuler les conséquences de ce qui est à approuver. Pouvoir valider des plans, des données ou le modèles 3D. Pouvoir valider sur papier ou en numérique. Avoir une gestion des indices : plan, modèle, objet, attribut. Disposer d'une traçabilité de l'historique.
2.9	Réceptionner la construction	Avoir rapidement le DOE. (« <i>As built</i> ») Gérer et tracer les réserves. Gérer les parachèvements. Mettre en évidence les écarts « Maquette vs Réalité ».
2.10	Communiquer	Incidents de la construction sur l'existant : coupures, rétablissements, etc.).
2.11	Vendre l'ouvrage à l'exploitant	Remettre rapidement le « <i>As built</i> » qui devient l'existant. Permettre d'anticiper les simulations d'usage et d'exploitation. Remettre l'historique et les nomenclatures des équipements. Favoriser une appropriation précoce.
2.12	Gérer son patrimoine	Disposer d'un archivage structuré de l'historique et du contractuel. Organiser un suivi performant des garanties.

Attentes des concepteurs

Nous listons ci-après les attentes des concepteurs.

#	Valeur et usages attendus	Commentaire
3.1	Structurer, faciliter la collecte des données externes	Disposer de check-lists des données nécessaires.
3.2	Disposer de données et contraintes pertinentes, faciles à récupérer et à consulter	Avoir accès à des données mises en ordre, explicites et tenues à jour avec une fréquence à définir. Connaître les niveaux de validité des données. Comprendre les tolérances. Être informé des lacunes et donc de la complétude.
3.3	Maîtriser les interfaces	Être informé des incohérences géométriques. Avoir accès aux liens entre objets, entre processus et entre acteurs.
3.4	Mieux comprendre les contraintes des autres domaines et autres acteurs	Disposer de représentations explicites des phénomènes et donc mieux comprendre les autres spécialités (autres domaines) ou les autres acteurs (constructeurs, exploitant). Mieux comprendre le contexte.
3.5	Susciter des variantes d'optimisation	Mettre en évidence des pistes d'optimisation par la vision même virtuelle de l'ouvrage. Favoriser une approche critique par l'accès aux données, aux contraintes, aux tolérances et aux mises à jour.
3.6	Simuler dès l'amont des phases de l'aval (construction, exploitation ou maintenance)	S'assurer de la faisabilité de la conception, Vérifier la possibilité d'exploiter l'ouvrage. Utiliser la structuration des objets (le modèle des données) pour, dès l'amont, représenter le projet dans sa totalité.
3.7	Faciliter les simulations spécialisées	Utiliser la MN pour réaliser et visualiser les simulations spécialisées (extraction directe sans ressaisie). Représenter les résultats de façon explicite.
3.8	Faire des évaluations globales	Réaliser des évaluations de développement durable grâce à la disponibilité de données cohérentes de tous les domaines. Bénéficier de la structuration des objets (et des données) pour, à tout moment, affecter des attributs quantitatifs ou qualitatifs à des processus de construction ou d'exploitation.
3.9	Fournir des données aux autres acteurs de la conception et de la construction	Fournir des résultats sous forme explicite aux autres concepteurs. Valoriser sa conception (une contrainte et aussi une valeur). Délivrer des données à jour, pertinentes, nécessaires aux différents acteurs. Partager données et résultats, mais pas la conception (savoir-faire).
3.10	Faciliter les reporting	Permettre par une vision explicite de l'ouvrage de faire partager sa conception, par le client (supposé non spécialiste). Faciliter l'information du MOA (ou autres décideurs) de l'avancement du projet (extraction des données pertinentes). Mieux gérer les risques et leurs évolutions au cours du projet.
3.11	Accélérer les prises de décisions	Fournir une vision globale de l'ouvrage avec des données cohérentes. Répondre aux questions par des simulations sans attendre les dossiers suivants. Disposer d'informations concentrées en un endroit et donc d'un accès facile. Regrouper facilement et rapidement les données nécessaires à la prise de décision.
3.12	Faciliter les concertations	Partager la conception avec les parties prenantes même non spécialistes. (vision explicite). Faciliter le suivi des engagements (de l'État). Exploiter les données mises à jour dans des formats adaptés.
3.13	Communiquer	Faire comprendre la conception par le public (vision explicite).

Attentes des constructeurs

Nous listons ci-après les attentes des constructeurs.

#	Valeur et usages attendus	Commentaire
4.1	Disposer d'un modèle complet (au-delà de la géométrie) conforme à son programme et à la réglementation	À partir de l'objet à construire et modélisé par le concepteur : <ul style="list-style-type: none"> découper en tâches (planning) ; définir les ressources et moyens nécessaires ; calculer les coûts ; optimiser les outils, approvisionnement des matériaux, circulation des engins ; optimiser le planning en fonction de l'avancement et des aléas ; prendre en compte des problèmes environnementaux liés à la construction.
4.2	Concevoir les méthodes de construction (vision du responsable Méthodes)	Piloter le planning (traité ci-dessus). Traiter les points de détail des tâches. Identifier les contraintes sur l'objet à construire, qui concernent les outils et leur mise en œuvre : inserts, déplacement et fixation d'outils, arrêts de bétonnage, détails ferrailage 3D, zones de travail, installations de chantier, sécurité, évacuation, ergonomie, etc.
4.3	Gérer les plans B	Anticiper les aléas le plus en amont possible. Préparer les solutions de secours (action de protection). Préparer les solutions de contournement (action de réparation). Proposition de variantes (pour prise décision).
4.4	Gérer et vérifier la mise à disposition des terrains	Visualiser en temps réel la disponibilité. Simuler à date la disponibilité en rapport au planning des travaux. Remettre à disposition des terrains utilisés pendant la construction.
4.5	Fiabiliser les données	La MN met en évidence les lacunes et donc la complétude. Synchroniser les données à un rythme déterminé (synchronisation à la demande). Éviter les erreurs dans la modélisation. Garantir que les tolérances sont compréhensibles et définies.
4.6	Accéder aux modifications	Garantir la disponibilité des informations à jour et approuvées au début de la réalisation (on ne peut construire que ce qui a été approuvé, on s'intéresse à l'objet à construire et pas au document). Disposer d'un graphe étude des documents Conception et Méthodes, avec flux d'approbation parfaitement définis. Suivre le statut des documents. Faire connaître l'ensemble des informations avant de construire (ressources et moyens).
4.7	Déclencher des idées	Mieux comprendre l'objet à construire et du phasage de construction. Partager en amont la même vision afin de faciliter son appropriation et d'optimiser son exécution. Mieux s'approprier l'objet final et meilleure compréhension de la destination de l'objet à construire, afin d'optimiser le niveau de qualité requis.
4.8	Aider à la décision	Pouvoir visualiser une synthèse de simulation au sein de la MN → vision unique et plus compréhensible (pas d'interprétation d'expert).
4.9	Partager et échanger des données	Fournir des données aux autres acteurs. Disposer d'un format neutre d'échanges pour éviter les ressaisies dans un contexte d'outils et systèmes différents et non interopérables. Assurer l'absence de perte de données échangées et garantir la précision (ou dans tolérances acceptables), grâce à la qualité du modèle d'échange
4.10	Maîtriser les risques	Identifier, évaluer et prioriser les risques liés à : coûts, disponibilité des terrains, disponibilité des documents, disponibilité des ressources, qualité du modèle, précision des données, géotechnique (réutilisabilité de couches, qualité des relevés topos, etc.), aléas météo et environnementaux, approbations et autorisations administratives, approvisionnements, disponibilité des matériels, matériaux, personnel, etc.

Attentes des exploitants

Nous listons ci-après les attentes des exploitants.

#	Valeurs et usages attendus	Commentaire
5.1	Participer à la conception	Stimuler et déclencher des idées. Établir le programme ou vérifier son fonctionnement. Évaluer le coût du programme d'exploitation.
5.2	Accéder aux modifications	En cours de projet, suivre les modifications du projet et interagir avec le MOA/MOE pour l'adapter. Gérer l'exploitation en phase de chantier.
5.3	Travailler avec des données non redondantes et à jour	Établir le programme de l'exploitant vis-à-vis du concepteur et adaptation en fonction des évolutions du projet.
5.4	Approuver la conception	Vérifier la conformité au programme d'exploitation.
5.5	Anticiper la réception, la prise en main et la formation	Simuler sur équipements et ouvrage. S'approprier l'ouvrage Former les agents d'exploitation avant mise en service (simulateur). Aider à la rédaction des procédures particulières d'exploitation, et simulation gestion de crise.
5.6	Obtenir un DOE performant (DIUO, Historique actualisé)	Mettre en ordre les données : nettoyer des données pour alléger la base initiale. Mettre à jour les ouvrages, tels que exécutés. Archiver les données et faciliter l'accessibilité.
5.7	Tracer la vie de l'ouvrage, et l'entretenir	Gérer le patrimoine existant. Tracer des garanties de l'ouvrage. Avoir un état à jour de l'état du réseau. Élaborer le programme d'entretien et l'optimiser en fonction des scénarios.
5.8	Partager et échanger les données structurées	Mettre en ordre les données et faciliter l'accessibilité. Récupérer les ouvrages existants (gérer par d'autres outils par exemple) afin de gérer le réseau depuis un seul applicatif.
5.9	Communiquer	Visualiser l'état du réseau.
5.10	Aider à la décision	Gérer les situations de crise en réalisation des scénarios sur l'infrastructure et son environnement. Simuler.
5.11	Géolocaliser les informations et les consulter sur site	Visualiser et situer les : <ul style="list-style-type: none"> • limites d'emprises, • interventions. Se repérer sur le réseau. Connaître l'infrastructure en détail et accéder aux données depuis le réseau.
5.12	Concevoir et optimiser les aménagements futurs	Simuler (cf. 4.2 Concepteurs). Fournir les données aux concepteurs futurs pour élaborer des projets (réparation, modification, etc.). La MN est mise à jour en retour.
5.13	Gestion des modifications en phase d'exploitation	Définir le modèle des données et des ressources appropriées.

B2 – Synthèse de l'attente de création de valeur

La MN permet le travail collaboratif

Le travail collaboratif est basé sur la confiance.

Développer la confiance

La confiance dans l'usage de la MN est à la fois une nécessité pour son usage, et un outil pour développer le travail collaboratif. Elle réside dans la :

- **fiabilité** des mises à jour des informations qu'il contient,
- **gestion** de la confidentialité et de la propriété des informations privées,
- **sécurité** et la **pérennité** d'accès aux informations,
- **qualité**, la **pertinence** et la **convivialité** des fonctionnalités qu'il permet,
- **généralisation** de son usage à tous les acteurs.

Utiliser la MN développe la confiance nécessaire au travail collaboratif car cela permet de :

- convaincre de l'intérêt pour chacun des acteurs de **partager** les informations et ainsi **d'optimiser** sa propre valeur ajoutée,
- démontrer l'optimisation du projet génère des **gains globaux** qui in fine sont partagés par tous les acteurs.

Quatre messages forts

Quatre messages forts ressortent de l'analyse de ces tableaux :

- Aider à structurer le projet.
- Voir pour mieux comprendre le projet.
- Optimiser le projet.
- Préparer l'avenir.

Une rapide synthèse de chaque point est présentée ci-dessous. Ils sont ensuite plus largement développés.

Aider à structurer le projet

En disposant d'un outil pour aider à structurer le projet, la mise en place de la MN doit conduire à :

- Structurer :
 - le **projet** en tronçons, lots, objets, systèmes, etc. ;
 - les **informations** relatives au projet et les rendre faciles d'accès et fiables.
- Préciser les **rôles**, responsabilités et droits des acteurs.
- Gérer les **modifications successives** afin de garder la fiabilité des informations disponibles.

Voir pour mieux comprendre le projet

La MN doit permettre de voir et donc de mieux comprendre :

- le projet,
 - les objets qui le composent,
 - les informations qu'il porte,
 - les phénomènes liés au projet,
- et ainsi d'avoir une :
- **vision globale** de l'ensemble du projet, mais aussi de chacun de ses composants,
 - **meilleure compréhension** du projet par tous les acteurs (directs, indirects, voire influents),
 - **communication** et une **concertation** plus facile et plus efficace.

- Optimiser le projet** Avec un outil d'optimisation du projet en qualité, coûts et délais, la capacité d'optimisation du projet est attendue de ces points :
- **Décloisonnement** entre les acteurs par une approche globale du projet.
 - **Créativité** améliorée des acteurs.
 - **Facilité et rapidité** des circuits de décision grâce au développement d'une confiance entre acteurs et à la résolution des *clashes* anticipée.
 - **Simulation** des phénomènes et de la construction,
 - **Évaluation** les impacts du projet en particulier ceux garantissant le développement durable.
 - **Maîtrise des risques** améliorée par des analyses anticipées grâce à des évaluations et simulations soit ciblées soit globales.
- Préparer l'avenir** Pour préparer l'avenir, la MN doit conduire à :
- **Archiver** les informations relatives à la réalisation du projet et ce dans des formats standards garantissant la pérennité de leur réutilisation.
 - Fournir automatiquement les **notices d'utilisation** nécessaire à l'exploitation.
 - **Capitaliser** pour la réalisation de projets analogues en mémorisant les organisations, les processus et les informations relatifs au projet.
 - Constituer des maquettes plus globales pour gérer les **patrimoines** et faciliter l'accès aux informations géolocalisées pour le développement et la conduite de futurs projets.

La MN, outil de structuration

La mise en place d'une MN nécessite d'analyser en détail le projet et de définir ses composantes et les règles qui les gèrent.

A minima, il faut prendre des décisions relatives aux :

- **objets** qui composent l'ouvrage à réaliser,
- **acteurs** qui vont intervenir,
- **informations** que l'on veut stocker et partager,
- **processus** permettant de gérer les évolutions de toutes ces composantes.

Décomposer le projet en objets

Pour les objets composant l'ouvrage, il faut définir des tronçons, des niveaux, des systèmes et tout cela en intégrant les fonctionnalités attendues, les métiers concernés, les niveaux de détail et de précision.

Cette structuration du projet en objets est décrite dans le module C1 ci-après.

Définir le profil de chaque acteur

Pour les acteurs, il faut définir leur profil.

Note : cette structuration des acteurs a été décrite dans le module A2.

Thème	Profil
Catégorie	Directs Indirects Influents
Rôle	Métier Domaine d'intervention
Caractéristiques	Devoirs Responsabilités Droits

Définir le modèle des données

Pour les informations, il faut définir un véritable modèle de données basé sur la structuration en objets. Cette structuration garantit la cohérence entre les disciplines qui interviennent sur le projet ou sur un des objets qui le composent.

Pour chaque information, il faut :

- La **localiser** dans la base.
- Savoir si elle est **publique** ou **privée**.
- En connaître le **propriétaire**.
- Connaître son **niveau de validation** (partageable, critiquée, figée).

Définir les règles de gestion de la MN

Par nature, la MN évolue en permanence avec le projet. La gestion des modifications et des variantes est une tâche majeure de la gestion d'un projet pour qu'un travail collaboratif se mette en place. Ces **évolutions** nécessitent :

- des **règles** précises de fonctionnement et d'utilisation de la MN ;
- un **langage** partagé et standardisé ;
- une **confiance** dans la MN et dans les acteurs.

En résumé, préparer le projet

Nous voyons donc que l'implémentation d'une MN oblige à bien préparer la conduite du projet.

Les futurs outils de mise en place d'une MN seront donc une aide à cette préparation. Les expériences des autres secteurs montrent que cette préparation justifie aussi un **travail collaboratif** entre tous les acteurs. Il est souhaitable de le conduire en plateau physique et peut durer une année sur des gros projets.

La structuration envisagée pour tous ces éléments est décrite dans les chapitres C, D et E ci-après.

La MN, outil de visualisation

Historiquement, le besoin de représenter les projets s'est traduit par la réalisation de maquettes physiques, en bois ou en polystyrène.

Depuis une quinzaine d'année, les infrastructures ont eu recours à une représentation par une maquette virtuelle. Cela a facilité sa présentation dans des actions de communication et de concertation. Cette maquette virtuelle, à rendu plus ou moins réaliste, pouvait être explorée en temps réel.

La MN envisagée permet un tel usage. Elle n'est pas une simple représentation de l'ouvrage fini puisqu'elle est le **support de la conception** et contient les objets 3D qui la composent.

Pour tout voir...

La MN permet de visualiser :

- le **projet** dans son ensemble ;
- un **objet constitutif** isolé ou dans son environnement ;
- des **informations** caractérisant un objet, un groupe d'objets ou le projet dans son ensemble ;
- des **simulations** numériques de certains **phénomènes** ou **processus** (de construction par exemple) ;
- le **résultat** des évaluations de certains impacts économiques ou environnementaux (dans le cadre du développement durable par exemple).

Elle permet à tous les acteurs de **naviguer** à l'intérieur du projet, de le visiter virtuellement, de mieux le connaître et surtout de mieux le comprendre.

...et mieux comprendre

Chaque métier manipule des objets qu'il a l'habitude de représenter par des plans, des schémas, des symboles et des conventions. Ceux-ci ne permettent pas aux acteurs étrangers à ce métier de les traduire dans leurs modes de compréhension.

La **vision en 3D** des objets fait sauter cet obstacle. L'objet devient concret même si sa représentation est virtuelle.

Par ailleurs, chaque acteur ne souhaite pas voir la même chose dans la MN. Il s'intéresse à sa discipline ou à sa préoccupation. La MN permet des visualisations adaptées en fonction du sujet : **faire ressortir une problématique particulière dans le contexte global du projet, tel est l'enjeu.**

La MN est ainsi un outil précieux pour :

- Communiquer en externe notamment pour les concertations et approbations.
- Faciliter et accélérer l'identification et la prise en compte des données, des contraintes du projet et des autres acteurs : gagner du temps.
- Éviter les mauvaises interprétations des besoins et contraintes : éviter des reprises ultérieures ou des tâches inutiles.
- Susciter des idées nouvelles (optimisation) en rebondissant sur des contraintes mieux comprises et donc contournables.

La MN, outil d'aide à l'optimisation

L'optimisation d'un projet comprend plusieurs étapes. La MN est un outil précieux pour chacune d'entre elles.

Étape	Action	Contribution de la MN
1	Analyser le projet	La MN permet de faire rapidement les évaluations du projet par le partage des informations structurées et fiables. Ces évaluations et des simulations d'aléas permettent d'identifier les véritables enjeux et les risques. De plus cette analyse est partageable par les acteurs.
2	Identifier les pistes d'amélioration	La MN conduit à une meilleure connaissance et compréhension du projet. C'est un atout majeur pour permettre la créativité des acteurs et imaginer ainsi des alternatives aux solutions initiales. En effet, la vision globale du projet conduit à mieux comprendre l'impact de ses propositions sur le reste du projet. Tous les acteurs sont ainsi force de propositions d'amélioration globale du projet en substituant un travail collaboratif au cloisonnement en conceptions parallèles spécialisées.
3	Évaluer les pistes d'amélioration	La MN permet l'évaluation nécessaire des solutions alternatives envisagées. Cette évaluation multicritère est facilitée par le partage des informations, la possibilité de faire des simulations et la mobilisation de tous les acteurs concernés. Même si pour cette évaluation, les expertises des spécialistes restent une nécessité, leur mobilisation est plus rapide et efficace . En effet, ils peuvent plus facilement comprendre le contexte du projet.
4	Prendre les décisions de modification	La MN aide les décideurs à connaître les enjeux, à comprendre les solutions proposées et à juger des risques. Les décisions sont prises plus rapidement et le coût et les délais sont réduits .
5	Gérer les modifications	La MN est un outil rigoureux et rapide de gestion des modifications : <ul style="list-style-type: none"> • résoudre rapidement les clashes engendrés par le changement, • éviter les surcoûts de conception dus à des modifications tardives.
6	Stocker les solutions comparées	La MN offre la possibilité de : <ul style="list-style-type: none"> • Gérer les solutions étudiées pendant leur analyse. • Archiver ces solutions pour en garder la mémoire.

La MN, outil d'archivage et de capitalisation

Conserver les informations relatives à un projet a toujours été un exercice difficile. Les raisons sont diverses, parmi lesquelles on peut citer :

- **mauvaise circulation** des informations durant le projet ;
- collecte des **informations différée** en fin de projet ;
- **rétenion des informations** par les acteurs (partage limité au strict devoir contractuel) ;
- **formats non standardisés** des informations ;
- **non pérennité** des supports de stockage, de lecture et d'exploitation.

Toutes ces causes disparaissent avec l'usage d'une MN partagée et le travail collaboratif qu'elle permet, si des standards communs ont été adoptés.

Une base d'informations structurée,...

En fin de projet, le maître d'ouvrage dispose d'une base d'informations structurée, complète et compréhensible par tous les acteurs devant intervenir durant l'exploitation de l'ouvrage, voire son démantèlement.

Les **notices d'utilisation** font partie des informations remises à l'exploitant.

... à la disposition des exploitants pour gérer l'ouvrage,...

L'exploitant utilise ensuite cette MN pour y **archiver** les informations relatives à l'exploitation de l'ouvrage. Il dispose ainsi de toutes les informations sur la vie de l'ouvrage. Il les utilise pour les opérations d'entretien et de grosses réparations.

... à la disposition des acteurs pour capitaliser,...

En fin d'opération, chaque acteur du projet, utilisateur de la MN, dispose de tous les éléments de retour d'expérience qui lui permettent de les capitaliser pour de futures opérations similaires. Ces capitalisations concernent tant les organisations mises en place que les méthodes utilisées.

Il dispose aussi de l'ensemble des données partagées du projet.

... à la disposition du maître d'ouvrage pour gérer son patrimoine

Le maître d'ouvrage gère plus efficacement son patrimoine. En effet, la constitution de MN des patrimoines se développe depuis quelques années et il est probable que cet outil se généralisera dans les années à venir.

La **standardisation des formats** permet d'incorporer le nouveau projet dans la MN globale de son patrimoine. Celle-ci, ainsi mise à jour, lui permet de :

- gérer son patrimoine,
- fournir une base de données actualisée aux acteurs de futurs projets.

B3 – Impacts sur les échanges et sur le coût des projets

Intensité des échanges

Il est évident que l'utilisation d'une MN collaborative a un impact fort sur les échanges d'informations entre les différents partenaires d'un projet.

Dans une **méthode de travail traditionnelle et séquentielle**, les échanges se font principalement sous forme de mails, de courriers, de compte-rendu de réunions et de transferts de plans, associés à des bordereaux d'envoi de documents.

L'utilisation d'une MN collaborative est basée sur la **mise en commun au fil de l'eau** des données sur une plateforme de travail partagée. Elle modifie donc les échanges d'informations, leur nombre et surtout leur répartition pendant la durée de vie du projet.

Quatre phases

Pour comparer ces deux méthodes de travail, nous avons distingué quatre grandes phases de la vie d'un projet :

Phase	Durée	Caractéristiques
Avant projet (AP)	4 périodes	Elle débute par exemple au début d'une concession ou d'un PPP, et se termine à l'approbation de l'avant projet. Elle comprend la concertation externe.
Conception détaillée (PEX)	3 périodes	C'est la phase d'avant projet détaillée, projet (pro de la loi MOP), l'établissement des dossiers de consultation et la mise en compétition.
Travaux (TX)	10 périodes	Elle démarre à l'ordre de service de démarrage des travaux et se termine à la mise en service.
Exploitation (EX)	3 périodes	Elle couvre le début de la mise en exploitation avec en particulier les travaux de parachèvement.

Leur durée indicative est composée de « périodes » d'échelle neutre. Cela permet de raisonner sur une même durée totale de 20 périodes. En fonction des projets, une période peut pratiquement varier entre 2 et 3 mois.

Ces valeurs situent la durée du projet entre 40 et 60 mois, ce qui correspond à la fourchette courante d'un projet d'infrastructure, hors projets très particuliers.

Cinq groupes d'acteurs majeurs

De même, pour simplifier l'analyse, nous avons retenu 5 groupes d'acteurs majeurs :

- maître d'ouvrage (MOA),
- concepteurs,
- constructeurs,
- exploitant,
- influents qui regroupent les administrations, les collectivités, les autres MOA, les riverains, les associations.

Comparaison mode traditionnel / mode collaboratif

L'intensité des échanges a été appréciée **en relatif** sans que l'unité ait une signification particulière. Les éléments qui peuvent justifier cette appréciation sont le nombre de réunions, de plans, notes, courriers, dossiers échangés, etc. Chaque partenaire du projet COMMUNIC a donc apprécié le nombre d'échanges réalisés actuellement en projet traditionnel, et **estimé l'impact** de l'utilisation d'une MN sur le travail en mode collaboratif.

Les courbes ci-après (figures B3-1 et B3-2) évaluent l'intensité des échanges dans le temps.

Nous avons considéré que les échanges se faisaient à **périmètre constant**, c'est-à-dire que la nouvelle manière de travailler avec utilisation d'une MN, n'engendre pas plus d'échanges que traditionnellement. C'est une hypothèse fautive, puisque l'apport d'un tel outil va engendrer plus de demandes et d'optimisations, et donc une recrudescence des échanges entre les partenaires. Mais la prise en compte d'un paramètre supplémentaire d'augmentation des échanges ne permet pas de comparer les courbes obtenues.

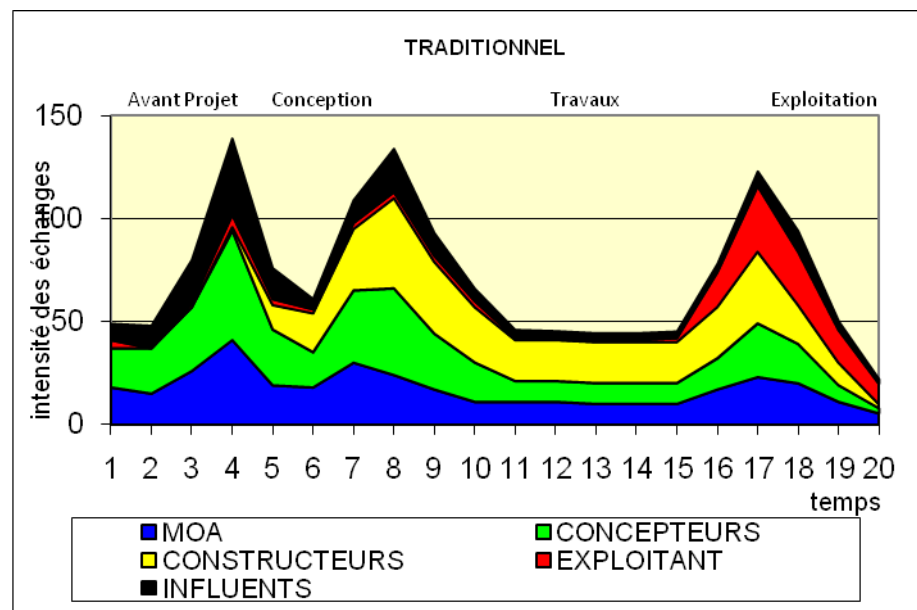


Figure B3-1 : Répartition de l'intensité des échanges dans le temps en mode de travail traditionnel

Nous constatons 3 pics principaux :

Pics principaux	Caractéristiques
Fin AP / début PEX	Les partenaires impliqués doivent se concerter pour finaliser les spécifications préliminaires en accord avec les besoins exprimés par le MOA. Les bureaux d'études sélectionnés doivent comprendre et prendre en compte les spécifications de la phase d'avant projet.
Fin PEX / début TX	Les partenaires impliqués doivent se coordonner pour obtenir un projet cohérent. Il faut lancer les appels d'offre nécessaires à la sélection des sociétés de construction qui vont exécuter les travaux. Le constructeur va réaliser les documents de détail de chaque ouvrage et affiner les méthodes de réalisation des travaux.
Fin TX / début EX	Le constructeur doit réaliser le dossier des ouvrages exécutés (DOE). L'exploitant doit comprendre et prendre en main l'exploitation du projet.

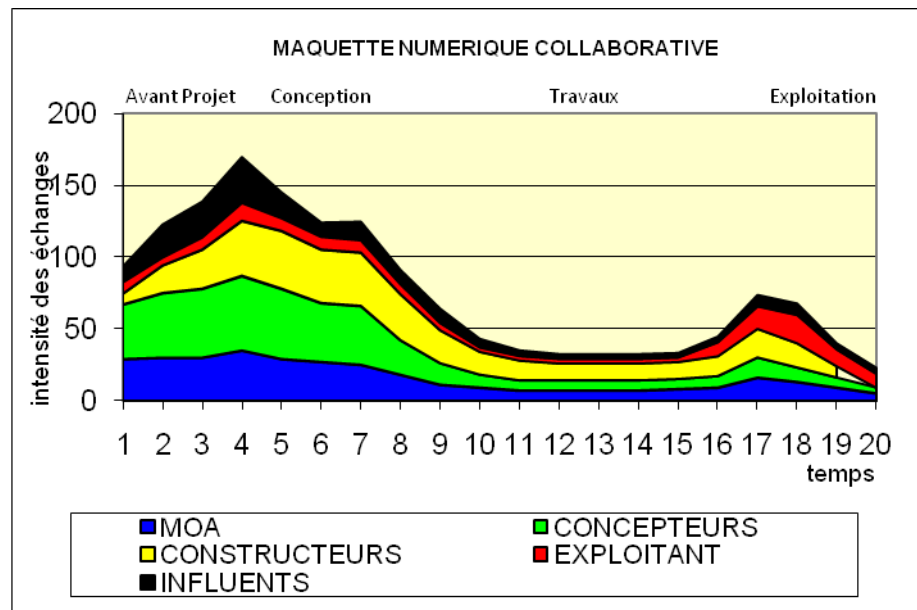


Figure B3-2 : Répartition de l'intensité des échanges dans le temps en mode de travail collaboratif avec utilisation d'une MN partagée

Les 3 pics marqués vus page précédente ont laissé place à une concentration des échanges beaucoup plus forte en début de projet.

Les échanges ont lieu **plus tôt** et sont d'une **intensité plus importante**, grâce à la présence de tous les acteurs en amont dans les phases préliminaires du projet.

La phase de conception est donc **plus dense** et **plus collaborative**, grâce à une meilleure intégration des équipes de développement, de réalisation et d'exploitation.

La phase de prise en main par l'exploitant est **plus « souple »** et **moins controversée**, grâce à la mise à jour régulière des données réalisées, conformes aux données conçues,

Les **données** sont **à jour** dans la MN et ne sont pas remises en cause.

**Conclusion :
anticipation
des modifications**

Les échanges entre les acteurs permettent de résoudre les *clashes* et donc de décider des modifications qui font avancer la conception et sa validité. Cet avancement peut être appelé **taux de maturité** du projet. Le travail collaboratif permet donc d'obtenir plus tôt un taux de maturité donné. Par suite, on connaît donc plus tôt le **coût du projet** avec une précision donnée.

Le fait de faire plus tôt les modifications du projet entraîne qu'elles ont un coût moindre et un **coût final réduit**.¹

Les impacts sur les coûts du projet (réductions et augmentations attendues) sont détaillés dans les paragraphes qui suivent.

¹ Dans les projets informatiques, une règle empirique corrobore cette affirmation, la règle du « 1/10/100/1000 ». Cette règle stipule qu'une modification dont le coût est de 1 au stage de la conception d'ensemble, a un coût de 10 au stade de la conception détaillée, de 100 au stage du développement et enfin de 1 000 au stade de la maintenance (exploitation).

Réduction des coûts du projet

Optimisation de la conception du projet

Les réductions potentielles sont nombreuses et permettent d'envisager une adoption à court terme de la MN et du travail collaboratif.

La MN permet une meilleure optimisation des projets et donc une réduction de leurs coûts. En effet :

- Les variantes sont **plus faciles à analyser** par de meilleures évaluations et simulations.
- Le partage du projet entre tous les acteurs permet de **mieux exploiter** les idées des autres et d'intégrer leurs contraintes.
- L'ingénierie concourante permet d'intégrer dans la conception les savoir faire des constructeurs pour trouver les **solutions les plus économiques**.
- Le **cycle de vie complet** de l'ouvrage est pris en compte dans la conception.
- Les **simulations et évaluations** peuvent être **globales**.
- Les donneurs d'ordre visualisent les coûts des services demandés et peuvent ainsi **se limiter aux besoins réels**.

Coût réduit de la conception

Le coût des études est réduit car les ressaisies de données sont évitées.

De plus, le projet est mieux compris par les concepteurs. Cela permet de limiter les études à la **juste qualité** correspondant aux besoins réels.

Il existe toutefois un risque de voir les demandes d'étude de variantes se multiplier sous prétexte qu'elles sont moins coûteuses. Ce risque doit être géré par le management de projet.

Anticipation de la conception

La **meilleure compréhension** du projet par tous les acteurs et leur **intervention anticipée** permet de :

- partager plus tôt la conception,
- réduire le nombre de modifications qui sont toujours sources de surcoûts.

Dans tous les cas, les modifications qui n'ont pas été évitées, sont anticipées grâce à l'ingénierie concourante. Les modifications moins tardives étant les moins coûteuses, il y a forcément **réduction des coûts**.

Optimisation des travaux

Certains aléas de travaux peuvent être étudiés et simulés par les constructeurs avant le commencement des travaux. Ils sont donc mieux maîtrisés et génèrent des **surcoûts plus faibles**.

Les méthodes d'exécution sont étudiées dès la conception et peuvent donc être optimisées tant vis-à-vis des coûts que des délais.

L'organisation des chantiers et la gestion de leurs interfaces sont préparées, gérées et donc optimisées par la MN.

La possibilité de préparer le chantier de manière anticipée permet d'optimiser les fournitures grâce à une **mise en concurrence** mieux préparée, plus précoce et conduite plus sereinement. Cela a un impact sur les coûts et sur les délais.

Raccourcissement et meilleur respect des délais

Dans certaines phases, la réduction des délais n'est pas forcément envisagée.

En revanche, les délais estimés sont mieux respectés, en raison de la **meilleure maîtrise** des **risques** et des **aléas**.

La réduction des délais de réalisation d'un projet permet de :

- **réduire les frais fixes** de mobilisation des acteurs.
- d'anticiper la mise en service et dans certains cas la perception des recettes.

Les différents coûts se composent de frais de personnel, de frais de matériel qui sont proportionnels au temps et de frais de matériaux liés aux quantités. Les réductions de délais des tâches études ou travaux réduisent donc les coûts par les deux premiers éléments.

Meilleure gestion des besoins du client

Les besoins du client sont mieux :

- compris et de manière anticipée par la MN et l'ingénierie concourante.
- justifiés car le client peut en juger lui-même les conséquences.

Ces deux éléments permettent de faire l'économie de travaux inutiles car non justifiés ou non demandés.

Optimisation du management de projet

La globalisation par un **partenariat études/travaux** simplifie le processus de conduite du projet et conduit à des économies.

Réduction des risques

La MN permet des **simulations** et des **évaluations globales** plus nombreuses et anticipées. Les décisions sont meilleures car les tenants et aboutissants sont mieux connus. Les risques sont ainsi mieux maîtrisés et les coûts sont donc réduits.

Coûts générés par le travail collaboratif et la MN

L'utilisation d'une MN collaborative risque également d'entraîner des coûts supplémentaires. Il faut les connaître et les maîtriser avant de généraliser cette nouvelle manière de travailler.

Pour le projet

Il y a un risque **d'augmentation du volume d'études** à réaliser car plus de variantes d'optimisation sont souhaitées.

La gestion de la MN est une **tâche nouvelle** à budgéter.

Les compétences des acteurs doivent évoluer vers de nouvelles technologies et de nouvelles méthodes. Ces **adaptations** ont un **coût**, au moins dans un premier temps.

Les acteurs indirects ayant les compétences nécessaires sont **moins nombreux** et leur mise en concurrence est **plus restreinte** au moins au début.

Les **infrastructures** informatiques affectées au projet doivent être **renforcées**.

L'anticipation des interventions des acteurs de l'aval limite un peu la mise en concurrence et peut conduire à un **surcoût**.

Pour l'entreprise

Les entreprises doivent s'équiper de **nouveaux logiciels collaboratifs** (MN).

De nouveaux collaborateurs sont à **recruter** (gestion de la MN).

Des **formations** sont à prévoir pour que les collaborateurs sachent utiliser les logiciels collaboratifs et travailler avec les nouvelles méthodes collaboratives (changement parfois culturel).

Les **logiciels** existants sont à **adapter** pour les rendre interopérables.

Les **systèmes informatiques** sont à **compléter**. Leur **gestion** doit être **adaptée** à des projets multiples conduits dans des partenariats différents.

Pour le secteur d'activité

Il faut que le secteur d'activité :

- **investisse** dans le développement de standards permettant l'interopérabilité.
- se doter d'un ou **plusieurs logiciels** de MN.
- **accompagner l'adaptation** des logiciels existants pour les rendre interopérables.

B4 – Image *high tech* des TP

La MN, outil de compétition économique

Au sens le plus usuel du terme, la compétition économique est d'abord **intra-sectorielle**, par exemple :

- Renault et Peugeot dans l'automobile.
- Google et Microsoft dans l'informatique.
- Sanofi-Aventis et GlaxoSmithKline (gsk) dans la pharmacie.

Cette compétition est indiscutable et acharnée.

Dans les sphères d'influence....

Pourtant, elle en cache une autre, **intersectorielle**, qui se positionne à des niveaux de sphères d'influence moins perceptibles du grand public.

Les politiques publiques se redéfinissent de fond en comble, prises en ciseau entre les coûts croissants des nouveaux développements et l'assèchement des ressources financières.

Il devient donc **stratégique** pour chacun des secteurs de se **positionner** vis-à-vis de la **gouvernance** politique et du public. Cela permet de faire valoir sa légitimité à être aidé par des dispositions en sa faveur, par exemple : politiques de l'emploi, de l'export, des formations ou encore et principalement de l'innovation.

Nous approchons ci-dessous cette problématique selon trois niveaux : l'Europe, la France et les opérations locales.

...européennes...

Un premier exemple est celui de l'Europe.

Le 4^{ème} programme cadre de recherche et développement a vu des programmes de recherche pour la construction connaître quelques succès. Et, le 5^{ème} s'en est détourné avec en corollaire une **décroissance forte des aides**.

Les thématiques propres à la construction se sont trouvées noyées dans des préoccupations très générales. Cet état de fait a changé seulement après la constitution d'une **plateforme technologique européenne de la construction** (l'ECTP²). Elle a su rassembler toutes les sensibilités professionnelles du secteur :

- entreprises de construction,
- centres de recherche,
- PME,
- fournisseurs,
- architectes,
- ingénieurs,
- bureaux de contrôle,
- maîtres d'ouvrage,
- maîtres d'œuvre.

Le secteur a pu ainsi engager une action vigoureuse de **lobbying technique** et de **mise en commun des réflexions** de toutes les parties prenantes quant aux enjeux et aux défis à relever.

L'ECTP a ainsi fait valoir la **légitimité** de la construction à occuper aussi le champ de la **recherche et de l'innovation**, et obtenu que des thèmes spécifiques lui soient ouverts et réservés.

La situation du secteur s'en est trouvée très améliorée pour les programmes-cadres 6 et 7 avec une *Joint Technical Initiative* pour *Energy Efficient Buildings*.

² ECTP = *European Construction Technological Platform*

... ou françaises,... Un deuxième exemple est celui des programmes de soutien à l'innovation en France. Une des pièces importantes du dispositif dans le système français de la recherche et de l'innovation est celui des **pôles de compétitivité**. Ils associent la recherche publique et privée. Ils sont soutenus par le fonds unique interministériel.

Sur les 71 pôles actuels, seul le pôle **Advancity** se positionne sur **l'ensemble finalisé des thèmes de la construction**. Après 4 ans et demi d'existence, il progresse avec détermination malgré un environnement industriel indifférencié et très compétitif.

Les champs couverts par la construction, pour toutes les activités humaines et économiques sont ceux :

- du **cadre de vie**,
- de la **mobilité**,
- du **travail**.

La construction constitue un **énorme effet de levier** sur toutes ces activités à l'heure des défis du changement climatique et du développement durable. Le secteur dans son ensemble n'est donc supporté en France que par un seul pôle. Ce n'est pas à la hauteur des enjeux.

... et sur le terrain des opérations au quotidien Si la **tension économique** est perceptible lors de l'élaboration des politiques, elle existe aussi au niveau des **recompositions des chaînes de valeur** entre les acteurs eux-mêmes, traditionnels ou nouveaux arrivants.

Les domaines technologiques de la CAO et de la CFAO, du management de la connaissance et du cycle de vie des produits ont été longtemps tirés par les industries manufacturières majeures (ex. : automobile, aviation, mécanique). Ces secteurs ont développé les outils associés, essentiellement logiciels.

Le domaine de la construction a été un **faible moteur** dans ces développements. Toutefois, certains éditeurs ont pu, au fil du temps, y prendre des positions fortes de **leadership** comme Autodesk ou Nemetschek³. Il y a 25-30 ans, quelques entreprises françaises de construction s'y sont intéressées. Elles avaient rencontré alors de nombreux déboires à cause de **l'insuffisante maturité** des techniques logicielles et des matériels.

Certes, les outils numériques pénètrent partout dans les entreprises. Mais, ils ne sont **pas coordonnés** autour d'un modèle global qui permet à ces outils de créer de la valeur. De plus, de grands éditeurs des logiciels et/ou des sociétés de services de traitement des contenus, données et connaissances affichent une **stratégie** vis-à-vis de la construction. Ils tentent de capter la création de valeur :

- au profit de **nouveaux acteurs** d'une économie dématérialisée,
- au détriment des **acteurs traditionnels** des services, de la construction et de l'ingénierie.

On va voir émerger dans les prochaines années des **plateformes de services** dont les opérateurs seront en mesure de capter pour une très grande partie la création de valeur. Elles concerneront les domaines du bâtiment, des transports interurbains ou urbains, collectifs ou non, de l'aménagement urbain, etc.

Le projet de recherche COMMUNIC avec son objectif de **développer un modèle** autour de la MN est au cœur de cette problématique.

³ Respectivement éditeurs d'AutoCAD et AllPlan.

	L1 - Modèle global	Page 44 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

La construction doit être acteur de l'évolution inéluctable, mais voulue

La construction doit se préparer à cette révolution car :

- Les **technologies** sont à présent **mûres** pour cela.
- Les **exigences** liées au cycle de vie sont maximales dans une construction qui travaille pour plusieurs générations. Elles induisent une exigence forte d'interopérabilité dans le temps. La construction bénéficiera largement de la création de patrimoines numériques qui seront autant de mémoires vives pour les constructions et les rénovations futures.
- L'**industrialisation** de la construction repose sur les processus, sur l'immatériel, sur les connaissances. Ses produits doivent être **sans cesse adaptés** aux contextes particuliers.
S'il est une industrie essentiellement basée sur la connaissance, c'est bien de la construction : elle vit à l'international du seul fait de l'exportation de ses savoir-faire et non de ses produits !

La construction doit donc mettre la **MN au centre** de ses lignes d'action :

- C'est pour elle un **positionnement stratégique** dans la compétition avec les autres secteurs industriels. Sinon ils vont remettre en cause son modèle économique.
- Sa force : son **savoir faire de management** de processus complexes et techniques.
- Elle seule peut **maîtriser l'exécution** concrète et les **connaissances**. Il lui suffit de transformer la menace numérique en opportunité pour qu'elle puisse se maintenir à son rang. Cela suppose une maîtrise de très haut niveau des outils numériques pour pouvoir influencer leur adaptation à ses besoins spécifiques.

La MN, outil d'attraction des talents

L'image technologique d'un secteur est un élément très important d'attraction et de **fidélisation** des talents. La **fierté** d'utiliser et de maîtriser les méthodes et les outils modernes de conception et de production complète la **motivation** par les niveaux de rémunération.

De ce point de vue, le secteur de la construction n'a pas cette image de haute technologie. Il attend du projet de recherche COMMUNIC qu'il modifie cette image en **développant l'ingénierie concurrente** par l'utilisation de la MN.

Séduire les meilleurs des organismes de formation

Il n'est un secret pour personne que les meilleurs des écoles d'ingénieur **se détournent des métiers traditionnels** de la construction. Ils se lancent alors dans les carrières financières, ou dans les secteurs à très forte image de modernité et de progrès comme l'Internet, l'espace, les logiciels, les télécommunications.

Par exemple à l'École des Ponts, les promotions désertent de plus en plus le champ de la technique et de la construction. Seulement 34% des diplômés de la promotion 2007 ont choisi les carrières construction, environnement et transports, recherche, BET ou collectivités.

Il convient d'**inverser cette tendance**.

Répartir les talents dans toutes les entités de l'entreprise et du secteur

La compétition présente et future évoquée précédemment nécessite d'investir largement les champs de la haute technologie pour **attirer les meilleurs talents** et les intégrer au sein des équipes tant de recherche que les équipes opérationnelles.

La société de la connaissance ne peut en effet trouver à s'exprimer que si elle est incarnée dans des **professionnels brillants** au sein des entreprises de construction et des ingénieries.

Le monde de la CAO, de la CFAO et de la MN est un **monde très technologique**. Il en perpétuelle agitation et évolution, nourri par d'importantes équipes de recherche comme celles de grands laboratoires de l'INRIA ou du CEA LIST. L'introduire au sein des entreprises présente l'avantage de confronter directement le monde réel – celui du chantier de construction - et le monde virtuel.

Aucun des nouveaux entrants ne peut donner à ces professionnels un cadre de travail aussi passionnant. C'est là un atout inégalable pour les acteurs de la construction.

Faire confiance aux jeunes générations

Ce **monde du virtuel** est un monde très **familier** aux jeunes générations. Elles savent de plus en plus le pratiquer. Les jeux, les réseaux, les processus de recherche d'informations, les outils de communication ont conduit ces jeunes à se sentir bien dans le monde virtuel et à **partager leur savoir** dans des communautés.

Ils sont les **porteurs de l'évolution**. Ils sont donc attirés par les secteurs qui leur permettent de retrouver au bureau les facilités au moins égales à celles qu'ils ont chez eux.

Promouvoir le secteur par les communications sur les projets

Le secteur a la chance de devoir communiquer auprès d'un **large public** sur les projets (travaux publics). Son image se construit dans ces contacts.

Par exemple, lors des enquêtes d'utilité publique, le public est mis en position de « construire de ses mains » les ouvrages qui lui sont présentés. C'est pour lui l'occasion de saisir le :

- caractère très **moderne** du secteur,
- côté « **grisant** » du métier qui participe à des œuvres majeures modelant le paysage.

La MN, outil de « coopération » intra-sectorielle

Des acteurs concurrents réunis sur un projet

Plongeons maintenant au sein même des projets de construction, par exemple les projets d'aménagement d'infrastructures. Ce sont toujours des constructions, des aventures devrait-on dire, complexes, et impliquant des acteurs multiples.

Les acteurs d'un projet sont très souvent de « circonstance ». Ils n'ont pas l'habitude de travailler ensemble et sont en compétition les uns avec les autres.

Marier compétition et coopération

La compétition intra-sectorielle est donc une question qui n'est ni de compétition pure, ni de coopération permanente. Il s'agit de marier les deux extrêmes que sont la compétition et la coopération, et de faire de la « **coopétition** »⁴.

Les acteurs peuvent adopter cette attitude car l'objet à construire constitue facilement un « phare ». Ils peuvent **s'identifier** dans ce phare, se **projeter** et en faire leur **ligne d'horizon** commune ou partagée.

La MN est une opportunité novatrice

Pour aborder cette complexité systémique, l'usage d'une MN partagée est l'unique vraie solution. Les organismes ou les individus représentent autant de dimensions en interaction de cette complexité. Ils peuvent y jouer en même temps et en concurrence.

La MN est un **lien privilégié entre le réel et le virtuel**.

- Elle « **modélise** », de façon virtuelle anticipée, et la construction attendue, et son fonctionnement.
- C'est l'objet facilement **identifiable**, tout à fait **externalisable** en un lieu neutre pour tous les acteurs.
- Elle est à la fois conforme à la réalité (tout au moins de plus en plus) et une **représentation « avancée »** dans le temps de cette réalité.
- Elle participe à l'**appropriation de l'objet réel**, si elle est bien gérée. Tous les acteurs peuvent se l'approprier. Dans le temps, elle est le réceptacle unique et bien visible de tous les travaux et de toutes les contributions de chacun.

La MN est donc une **opportunité**, totalement novatrice comparée aux travaux de conception menés à partir d'une multitude de plans 2D sur papier.

Elle permet une **démarche** éminemment **participative** entre les acteurs. Elle respecte les innovations du **Web 2.0**, et les évolutions sociétales qui l'accompagnent.

La MN, outil de participation et de dialogue sociétal

La MN, un outil de dialogue sociétal

Tout aménagement urbain, toute infrastructure, toute construction, **marque durablement son environnement**, le façonne. Cet environnement concerne non seulement le client, mais aussi et tout de suite le voisin, le citoyen, le voyageur, le citoyen local ou national, le grand public.

De tout temps, le dialogue a été **codifié** et **organisé**. Il est de plus en plus demandé, exigé, par les citoyens, voire parfois confisqué par certains groupes de pression.

La disponibilité d'une base objective est toujours clef dans un débat public ouvert et serein. Les décisions prises ne sont pas nécessairement optimales car chacun a son propre optimum. Mais, elles doivent être comprises et acceptées comme étant un **compromis** admissible. Chacun doit comprendre les impacts et les moyens de les minimiser durant l'exécution des travaux et lors de l'exploitation ultérieure.

Pour cela, le **réalisme de visualisation** et l'**interactivité en temps réel** pour adapter les points de vue, font de la MN un outil incontournable du dialogue sociétal. Elle peut également être directement accessible au public selon les modalités du Web 2.0.

⁴ Mot-valise composé de la combinaison de **compétition** et **coopération**.

B5 – Atout concurrentiel à l'international

La MN, outil différenciateur pour le marché international de grands ouvrages complexes

Le marché de la construction n'est pas à proprement parler un marché globalisé et international. C'est plutôt une juxtaposition de marchés souvent régionaux ou tout au plus nationaux.

Pourtant, il existe un marché international de taille non négligeable mais qui se concentre sur de très grands ouvrages d'infrastructures ou de bâtiment de leurs fondations à tous leurs équipements techniques. Ce marché est un « **phare** » très visible de l'activité de construction dans ce qu'elle a de plus exemplaire, technologique, excellent et emblématique. Il est un **attracteur** et un **modèle** vis-à-vis des marchés nationaux.

Les entreprises françaises leaders sur le marché international

Les entreprises françaises y ont un **leadership** depuis de nombreuses années et entendent le conserver.

Les exemples ci-après doivent beaucoup au savoir-faire Hexagonal. Ils sont des repères pour l'image de la profession :

- Ponts, de Bubiyan, de la Severn, de l'Île du Prince Edouard, du Tage, de Rion Antirion, de l'Oresund.
- Barrages, de Yacireta, de Dul Hasti, de Xiao Lang Di, de Ertan.
- Autoroutes, de Fredericton Moncton, de Malaisie.
- Basilique de Yamoussoukro.
- Tours Petronas à Kuala Lumpur.
- Tunnels, sous la Manche, de l'Oresund.
- Lignes ferroviaires à grande vitesse de Corée.
- Métros, du Caire, d'Athènes, de Hong-Kong.

Les entreprises françaises ont de nombreux concurrents (constructeurs coréens, chinois, européens, américains) sous le contrôle d'ingénieries et de maîtrises d'œuvre essentiellement anglo-saxonnes. Elles ne maintiennent leurs positions que par leur **technicité** et par leur **maîtrise des processus constructifs** qui reposent essentiellement sur la **maîtrise des flux d'informations**.

C'est ainsi que la MN sera le futur **atout différenciateur** de nos entreprises à l'exportation.

Un outil multi-local et de management

Ces projets majeurs et complexes font toujours intervenir des entreprises et des **organismes de tous les pays**.

Ils sont donc essentiellement multi-locaux : la **maîtrise des processus** collaboratifs et des outils modernes de **télécommunication** est indispensable.

La MN pour se comprendre

Cette maîtrise des processus et des outils est facilitée par la MN.

Celle-ci repose essentiellement sur l'image et la perception visuelle. Elle est un **outil de communication « premier »** pour une compréhension très naturelle.

Avec la MN, il n'est plus nécessaire de traduire les textes et les mots dans les langues des pays d'exécution pour faire partager une question et une réponse.

**La MN, outil
de promotion
et de marketing**

**Un partage des
projets avec les
donneurs d'ordre**

Le marché international est également un marché ouvert aux nouvelles formules de contractualisation :

- « *Design and Build* » (D&B),
- clef en mains,
- concession,
- « *Public Private Partnership* » (PPP).

Ces grands projets se gagnent par de nombreuses qualités dont les premières sont le **financement**, le **coût** et la **maîtrise des risques**.

Ils se gagnent aussi par la capacité à montrer et **démontrer la qualité** des ouvrages projetés, et à faire **partager** le contenu du projet fonctionnel avec les :

- autorités décisionnaires,
- bailleurs de fonds,
- autorités publiques.

Ceux-ci souhaitent vérifier avec tout le réalisme souhaitable, « immersif » devrait-on dire, qu'il est bien conforme à leurs attentes, voire à leurs rêves. Là aussi, la MN est une réponse technologique à cette question. En effet, elle permet tout cela à tous les stades, même très amont, de la conception.

Page laissée blanche intentionnellement

 The logo for 'Communic' features a stylized blue globe with white lines radiating from it, set against a white background with a grid pattern. The word 'Communic' is written in a sans-serif font to the right of the globe.	L1 - Modèle global	Page 50 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

C – Structuration et circulation des informations

C1 – Structuration d’un projet en objets	52
Objectifs.....	52
Décomposer l’ouvrage	52
Organiser les objets en niveaux pour une définition de plus en plus détaillée.....	54
Structurer les objets pour gérer leurs appartenances.....	56
Structurer la MN pour créer, intégrer ou fusionner, et gérer, des maquettes partielles ..	57
Permettre la visualisation des objets au niveau choisi	58
Spécificités des objets géotechniques.....	58
C2 – Modèle de données	60
Enjeu majeur : communication et partage d’informations.....	60
Caractéristiques des informations de la MN.....	61
Organisation du modèle de données.....	62
Visualisation des informations.....	63
Propriété et responsabilité des informations	63
Mise en œuvre du modèle de données.....	64
C3 – Échange et partage des informations	66
L’environnement MN	66
Architecture fonctionnelle	67
Cycle de vie l’information projet	68
La plateforme collaborative d’échange : le cœur du système	69
Le système de transfert	70
Le système de gestion des données	71
Le système de synthèse de projet	72
C4 – Processus de validation	73
Introduction	73
Phases du cycle de vie d’un projet.....	74
La validation, garante de la confiance entre les partenaires	75
Les revues	77
Notion de date d’effectivité.....	79
Notion de diagramme de maturité.....	80
Exemple de diagramme de maturité	82
C5 – Pertinence de l’information	84
Fiabilité de l’information	84
Niveaux de maturité et degrés de développement.....	85
Gestion des modifications.....	86
Gestion des variantes	86
Traçabilité des décisions	88
Gestion des plans 2D associés à la maquette 3D	88
Propriété intellectuelle et protection du savoir-faire	89

C1 – Structuration d'un projet en objets

Objectifs

Définir et organiser le modèle numérique qui décrit le projet

Traditionnellement, un projet est décrit par une liste prévisionnelle de plans 2D. L'utilisation d'une MN collaborative partagée remet en cause ce découpage en plans, par l'utilisation d'un **découpage en objets structurés** ou en **assemblage d'objets**.

Ce découpage est une technique de modélisation pour définir et organiser le modèle numérique qui décrit le projet :

Concept		Secteur
PBS	<i>Product Breakdown Structure</i>	Mécanique
BBS	<i>Building Breakdown Structure</i>	Construction
LIBS	<i>Linear Infrastructure Breakdown Structure</i>	Infrastructures linéaires

Découper par métiers, systèmes, éléments et phases

Le projet peut par exemple être découpé par métiers, système transverse, éléments de construction et phases du cycle de vie.

Il faut assurer que :

- Ces **découpages** soient **cohérents** entre eux.
- Chaque partenaire puisse **organiser** et **visualiser** les données selon sa propre discipline, sans remettre en cause les autres découpages (par ex. : découpage géométrique et découpage par système transverse).

Préparer l'organisation du projet et des processus

Ces découpages ont un impact majeur sur l'organisation du projet, sur l'efficacité du travail, et donc sur les processus collaboratifs. Ils engagent les partenaires à **collaborer** et à se concentrer sur les mêmes objectifs, même s'ils travaillent avec des vues et des métiers différents.

La principale motivation, le but ultime, sont de développer des découpages **communs et flexibles**, qui détaillent un projet de construction en composants élémentaires. Cela permet de **faciliter la validation** directe d'objets ou de groupes d'objets, au lieu de continuer à valider des plans 2D (vues partielles d'un modèle global).

Avoir une vision globale

La visualisation d'un système transverse, indépendamment d'un découpage géométrique par zones, doit permettre une :

- **vérification de la cohérence** de toutes les données composant ce système,
- **validation globale** du réseau sur l'ensemble du projet.

Décomposer l'ouvrage

L'objet est physique

Nous allons voir ci-dessous comment la MN va aider à décomposer l'ouvrage en : **objets, informations, niveaux**.

Le premier principe de base de conception de la MN est de décomposer l'ouvrage en objets physiques. Ils auront (ou ont si l'ouvrage existe déjà) une réalité physique. Et, tout acteur pourra les visualiser par la MN virtuelle.

Cette précision est importante car la notion d'objet est comprise de manière plus générale par les développeurs informatiques en appelant objet tout élément manipulé informatiquement.

Par exemple, l'objet *chaussée* est pour nous **l'objet réel** constitué de différentes couches de matériaux. Il a une surface supérieure sur laquelle roulent les véhicules et une surface inférieure qui repose sur la couche de forme. La largeur de la chaussée n'est pas un objet mais est une caractéristique de l'objet chaussée.

C – Structuration et circulation des informations

C1 – Structuration d'un projet en objets (suite)

Décomposer l'ouvrage (suite)

L'objet est physique (suite)

Ce principe de base est fondamental pour comprendre dans quel esprit nous allons décomposer l'ouvrage à construire.

Un ouvrage de génie civil de plusieurs dizaines de kilomètres de long comprend un nombre d'objets tel qu'il est impossible de :

- les envisager tous au **début** d'une étude ;
- les représenter tous de manière **compréhensible** par une seule vue de la maquette.

Il faut donc **gérer les niveaux de détail**. Pour cela, chaque objet est :

- objet **enfant** : un des composants d'un objet plus global ;
- objets **parent** : l'agrégation d'objets plus détaillés.

Note : chaque objet enfant est lui-même décomposable en objets encore plus détaillés : « *petits-enfants* ».

Attacher l'information à l'objet

Le deuxième principe de base de la conception de la MN est de rattacher toute information de l'ouvrage à un objet. La question permanente qui se pose au concepteur de la MN est donc de savoir **à quel objet** il faut attacher une information.

Pour reprendre l'exemple de la chaussée, il ne faut pas rattacher la nature ou la densité de la couche de base à l'objet *chaussée*, mais plutôt à son objet enfant : la couche de base. De même, la structure générale de la chaussée n'est pas affectable à la couche de base, mais bien à l'objet *chaussée*.

Dans la pratique, la logique physique de la **décomposition** (basée sur des objets réels construits ou à construire), permet de trouver intuitivement l'objet auquel une information se rapporte.

Organiser les informations en trois catégories

Le troisième principe de base de la conception de la MN est d'organiser les informations attachées à un objet en trois catégories :

Catégorie	But	Contenu
Identification et géométrie	Définir l'objet de façon unique	L'objet et les éléments définissant sa forme et son positionnement dans l'espace. (volume, localisation, orientation).
Attributs	Fournir les propriétés caractérisant l'objet	Les caractéristiques propres à l'objet telles que la nature des matériaux qui le composent, ses propriétés, son coût, ses dates de réalisations, etc.
Relations⁵	Connaître le lien entre l'objet ou leurs informations <u>et</u> les autres objets ou leurs informations.	Les liens avec les autres objets qu'ils soient géométriques ou fonctionnels, son appartenance à un système, ses contraintes temporelles de réalisation. Ces règles servent en particulier à la détection des clashes.

Bien sûr, le contenu de ces trois catégories **varie** :

- d'un projet à l'autre,
- d'un objet à l'autre,
- en fonction du niveau de détail, de l'avancement du projet,

mais le respect de ces catégories simplifie la conception et la gestion de la MN.

⁵ Cette catégorie est en particulier utile à la détection de *clashes* entre les informations stockées dans la MN.

Organiser les objets en niveaux pour une définition de plus en plus détaillée

Le nombre d'objets constituant l'ouvrage au niveau le plus détaillé, la lisibilité des informations qu'ils portent, obligent à organiser les objets en niveaux. On peut ainsi choisir quel est le niveau **le plus adapté** à la vision de l'ouvrage que l'on veut obtenir.

Cette structuration en niveaux ne peut être définie de manière unique pour tous les projets et ouvrages. Elle dépend de :

- la **taille** de l'ouvrage (centaines de mètres ou centaines de kilomètres).
- l'**organisation** de conduite du projet, sa méthode de **réalisation** et sa **décomposition** en sous-ouvrages élémentaires.

Elle doit donc être **flexible** et **évolutive**. L'avancement du projet conduit à détailler plus ou moins et de manière décalée certaines parties de l'ouvrage.

Hiérarchie des Niveaux

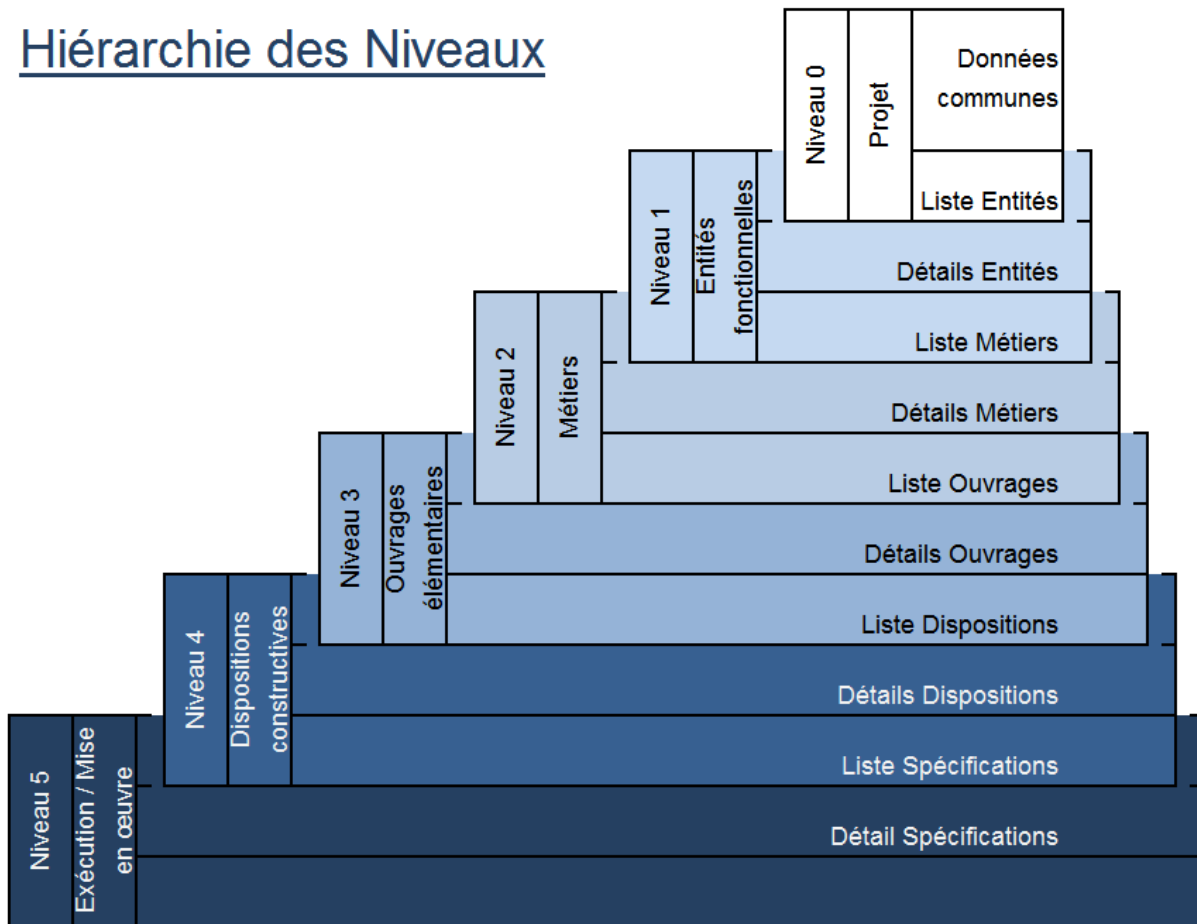


Figure C1-1 : Hiérarchie des niveaux d'objets

C – Structuration et circulation des informations

C1 – Structuration d'un projet en objets (suite)

Organiser les objets en niveaux pour une définition de plus en plus détaillée (suite)

Un niveau 0 correspondant à l'ensemble du projet

Dans tous les cas, il faut que l'objet de **niveau zéro (N0)** soit constitué par **l'ouvrage dans son ensemble**. Toutes les informations générales de l'ouvrage ou projet sont attachées à cet objet. Elles sont à organiser de manière tout à fait particulière. Elles constituent une base de données, structurée pour retrouver tout ce qui n'est pas caractéristique d'un objet plus précis comme les :

- **données** générales,
- **dossiers** généraux produits,
- **informations** actualisées en matière de coûts ou de délais,
- **documents** contractuels généraux.

Les niveaux inférieurs peuvent être organisés en fonction de l'utilisation que l'on veut faire de la MN, mais nous pensons que les niveaux 1 et 2 peuvent être construits sur les principes suivants.

Un niveau 1 pour identifier les ouvrages fonctionnels

Le **niveau 1 (N1)** traduit la décomposition de l'ouvrage global (N0) en ouvrages fonctionnels. En effet, toutes les parties de l'ouvrage global ont une fonction à assurer.

Les exemples suivants contribuent à clarifier la notion d'ouvrage fonctionnel :

Ouvrages	Fonctions
Autoroute	Permettre le trafic autoroutier sur un tronçon donné.
Rétablissement de communication	Permettre le trafic d'une RN, d'une RD, d'une VF au dessus ou au dessous de l'autoroute.
Ouvrage hydraulique	Permettre l'écoulement des eaux d'un ruisseau à travers l'autoroute.
Canalisation (d'eau par exemple)	Dont il faut maintenir le service à travers l'autoroute
Ligne électrique, enterrée ou aérienne	
Terrain naturel	Qui porte beaucoup d'information sur l'environnement du projet.
Sous-sol existant	Dans lequel ou sur lequel l'ouvrage devra être construit.

Un niveau 2 pour décomposer les ouvrages de niveau 1 en métiers ou natures de travaux

Le **niveau 2 (N2)** traduit les différents **métiers ou natures de travaux** qu'il faut assembler pour réaliser chaque ouvrage fonctionnel. En effet, chacun des ouvrages fonctionnels du niveau 1 nécessite l'intervention de corps de métiers spécialisés qui en conçoivent puis construisent une partie.

Les exemples suivants illustrent la répartition en spécialités pour un ouvrage fonctionnel simple comme un rétablissement de communication routière :

- ouvrages de terrassement : déblais, remblais, couches de forme, etc.
- ouvrages d'art,
- réseaux de drainage,
- chaussées,
- équipements.

Les principes de structuration des trois premiers niveaux (N0, N1, N2) tels qu'ils sont formulés ci-dessus doivent pouvoir être utilisés pour tous les projets. Cela présente l'avantage d'avoir pour chacun des 3 niveaux un **ensemble d'objets** qui constituent la totalité de l'ouvrage. Seul le niveau de détail varie. C'est un avantage précieux pour la constitution de maquettes partielles spécialisées, comme nous le verrons plus loin.

C – Structuration et circulation des informations

C1 – Structuration d'un projet en objets (suite)

Organiser les objets en niveaux pour une définition de plus en plus détaillée (suite)

Les autres niveaux sont spécifiques, et à adapter à chaque métier Pour les niveaux suivants, plus détaillés, les critères de décomposition sont plus divers. Les exemples ci-après sont donnés à titre indicatif. Ils permettent de comprendre la démarche de décomposition jusqu'au niveau de détail considéré comme pertinent pour l'usage souhaité de la MN.

Niveau	Composition	Détails
N3	Ouvrages élémentaires	Un ouvrage d'art peut être le tablier, les piles, les culées. Des terrassements peuvent être les déblais et les remblais.
N4	Dispositions constructives	Une pile d'ouvrage d'art peut être décomposée en une semelle, un fût et un chevêtre. Un remblai peut être décomposé en une purge, un tapis drainant, un corps de remblais et une arase.
N5	Constituants spécifiques	Un fût de pile peut être décomposé en béton et ferrailage. Un corps de remblai peut être décomposé en couches élémentaires pour spécifier des natures de matériaux et des mises en œuvre différentes.

La structuration des N3 (et au-delà) est donc spécifique à chaque métier. Il est probable que la capitalisation résultant de l'usage de la maquette conduira à les optimiser.

Structurer les objets pour gérer leurs appartenances

Les classes pour identifier les ouvrages de mêmes types

La structuration ci-dessus du projet est basée sur un découpage géométrique de plus en plus détaillé des objets.

Toutefois certains objets appartiennent à des familles qui les relient de manière transversale. Ces appartenances peuvent être de natures différentes.

Il s'agit de permettre le regroupement d'objets qui ont suffisamment de caractéristiques communes.

Nous avons, par exemple, les éléments préfabriqués (buses béton de drainage, regards, glissières de sécurité, clôtures, etc.). Individuellement ces objets sont bien identifiés aux N3, N4 ou N5 par exemple. Néanmoins pour le projet, nous retrouvons des objets similaires dans plusieurs objets de N1 ou N2.

Les systèmes pour regrouper les ouvrages complémentaires pour assurer une fonction

Il faut également traiter les ensembles d'objets qui constituent des systèmes fonctionnels ou métiers. Il y a par exemple, le réseau de drainage. Il est constitué d'une succession d'objets dont la continuité et la cohérence est nécessaire au bon fonctionnement. Bien sûr, chacun des objets constitutifs a un lien avec l'objet adjacent. Nous souhaitons isoler et visualiser le réseau (collecte, transport, rejet) pour le concevoir ou le vérifier.

D'autres réseaux sont sans doute à considérer :

- système global des **terrassements**,
- système de **péage**,
- système d'**exploitation**,
- **aménagement paysager**,
- **réseau des rétablissements** de communication en lien avec les remembrements.

La structuration en objets n'est pas remise en cause

Dans les deux cas ci-dessus, cela ne remet pas en cause la structuration du projet en objets. Mais, il faut :

- Prévoir, dans les liens entre objets, un champ pour **enregistrer** l'appartenance à une **classe** / un **réseau**.
- **Stocker** (sans doute au niveau 0) et **gérer les classes / réseaux** créés.

Structurer la MN pour créer, intégrer ou fusionner, et gérer, des maquettes partielles

Des maquettes partielles de grands projets pour manipuler des maquettes de tailles raisonnables

Dès le début de la structuration du projet, il faudra s'interroger sur la taille et donc la convivialité (et le caractère utilisable) de la MN. Nous abordons donc ici les cas où le projet considéré n'est pas couvert par une MN unique.

Nous sommes, dans certains cas, amenés à **isoler une partie** de l'ouvrage dans une maquette partielle. Celle-ci est en général constituée d'un ensemble d'objets de N1. Elle peut être gérée de manière **indépendante**. Néanmoins, en tant que **super-objet** elle a une définition géométrique, des attributs et des relations avec les autres objets de la MN globale.

La cohérence de toutes ces informations avec le reste du projet est bien sûr gérée par la MN globale. Celle-ci ignore les niveaux détaillés de la maquette partielle.

Des maquettes partielles spécialisées pour faciliter le travail des acteurs d'un même métier

Les objets manipulés par certains acteurs n'intéressent pas forcément tous les autres acteurs. Et, les relations de ces objets avec les autres objets sont peu nombreuses. Enfin, il est possible qu'à partir d'un niveau de détail, une spécialité justifie un **standard** qui ne doit pas être partagé par les autres acteurs du projet.

Cela peut donc conduire à considérer que certains objets de N2 (métiers) doivent constituer des maquettes partielles. Elles pourront être gérées de manière **indépendante**.⁶

L'objet (N2 par exemple) qui correspond à la création d'une maquette partielle a une définition géométrique, des attributs et surtout les relations que l'ensemble de ses objets-enfants ont avec les autres objets de la maquette globale.

La cohérence de toutes ces informations avec le reste du projet est bien sûr gérée par la MN globale, en ignorant les niveaux détaillés de la maquette partielle.

Des maquettes partielles ou dupliquées pour étudier et gérer des variantes en parallèle du projet de base

La conduite d'un projet amène à envisager, et donc à étudier, des **variantes**. Certaines parties de l'ouvrage pourront pendant une période avoir deux (ou plus) maquettes les décrivant.

Pour cela, on pourra par exemple :

- Identifier les **objets impactés** par la variante et en extraire une maquette partielle.
- **Dupliquer** la maquette partielle.
- Faire l'**étude de la variante** avec cette deuxième maquette.
- Gérer la **cohérence** des deux maquettes pendant cette étude.
- Faire un **choix** et éventuellement **importer** la maquette variante à la place de la maquette partielle incluse dans la maquette globale.

La gestion de la cohérence comprend :

- le respect de la **géométrie extérieure** des maquettes partielles,
- la gestion des **relations** entre chacune des maquettes partielles et la maquette globale.

La maquette partielle **non retenue** est **archivée** en historique du projet.

⁶ Notons néanmoins l'intérêt conservé d'utiliser la MN lorsqu'il y a **plusieurs acteurs spécialisés** intervenant sur ces objets, par ex. en cas d'acteurs multiples intervenant sur un ouvrage d'art.

Permettre la visualisation des objets au niveau choisi

Exemple : rétablissement de communication

Une des fonctionnalités attendues de la maquette est de pouvoir visualiser l'**ouvrage**, les **objets** qui le composent, les **phénomènes** qui le concernent.

Cette visualisation ne peut pas être identique pour tous les niveaux de détails, toutes les échelles et tous les stades d'avancement du projet. Lors de la structuration du projet, il faut donc que les types de représentation des objets soient définis.

Par exemple, un rétablissement de communication peut être représenté par un :

- **trait** sur le TN (pour identifier la fonction) ;
- **tube enveloppant** le rétablissement et le gabarit à dégager ;
- **objet peu détaillé** :
 - sans textures réalistes (pour les conceptions) ;
 - avec des textures réalistes (pour les concertations) ;
- ensemble **d'objets très détaillés** avec des couleurs différenciatrices (pour vérifier les conceptions spécialisées détaillées) ;
- ensemble **d'objets détaillés** avec un rendu réaliste (pour un exploitant).

Géométrie et texture propres à chaque objet

Les différentes représentations jouent en fait sur deux caractéristiques propres à chaque objet :

- **géométrie** de l'objet (détails et précision) ;
- **texture** (brute ou rendu réaliste).

Il faut donc savoir **stocker** pour chaque objet plusieurs géométries et plusieurs textures qu'il convient de choisir pour les fonctions de visualisation de la maquette.

Spécificités des objets géotechniques

Il faut pouvoir intégrer les modèles experts à la MN

Nous traitons ci-dessous de l'intégration des données géotechniques dans l'environnement d'ensemble de la MN.

Toutes les données géotechniques ont en commun de devoir être **interprétées** par l'expert. C'est lui qui, ensuite, interpole, ou extrapole, pour construire un **modèle 3D représentatif**.

C'est un exercice difficile et quelques logiciels ont été développés pour l'aider. Il reste à rendre ces **logiciels interopérables** avec la MN pour que celle-ci puisse gérer des modélisations.

La MN doit pouvoir gérer des informations incertaines issues de traitements statistiques

Les **caractéristiques** collectées sont en général **dispersées**. Il convient de les traiter de manière statistique pour obtenir des caractéristiques moyennes qui peuvent justifier la structuration du modèle en objets.

À chaque caractéristique d'un objet « *sous-sol* », on attache donc une incertitude qui peut conditionner la conception.

La MN permet de **gérer les incertitudes** des informations qu'elle contient. La **gestion des incertitudes géotechniques** est particulièrement stratégique pour un projet.

Voyons maintenant tout cela d'un peu plus près.

C – Structuration et circulation des informations

C1 – Structuration d'un projet en objets (suite)

Spécificités des objets géotechniques (suite)

Les données géotechniques sont collectées progressivement à partir de moyens très divers

Les caractéristiques des sols rencontrés sont déterminées à partir de campagnes de reconnaissance. Celles-ci peuvent être des :

- **sondages** (linéaires) ;
- **essais** (ponctuels) ;
- **excavations** (volumiques) ;
- **observations visuelles** (surfaciées).

Au début de la conception, on dispose seulement d'une carte géologique :

- Durant les phases de conception, les campagnes de reconnaissance fournissent progressivement beaucoup de renseignements, mais pas de certitudes.
- Durant les travaux on découvre le sous-sol réel mais uniquement pour la partie de sol que l'on extrait.
- Ce n'est que pendant l'exploitation que l'on pourra juger des conséquences de tout ce que l'on ne connaissait pas.

Dans la pratique, **on fait des hypothèses et on simule les comportements**. Puis on vérifie ces hypothèses tout au long du cycle de vie et lorsqu'il y a divergence, on simule à nouveau.

On voit en quoi les fonctionnalités de la MN seront précieuses pour cela.

Les modèles géotechniques sont différents suivant l'étude géotechnique qui les utilise

Collecter, géolocaliser et gérer les données géotechniques est une fonctionnalité de base de la MN et ne pose pas de problème.

En revanche, la modélisation du sous-sol en objets homogènes est beaucoup plus difficile. En effet, un modèle géotechnique sert à faire des calculs ou des simulations. Chaque modèle est construit sur les caractéristiques qui sont spécifiques à ce calcul, comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Problématique traitée	Paramètre(s) majeur(s) (<i>drivers</i>) du modèle
Conditions d'extraction des déblais	Dureté des matériaux
Stabilité des talus	Coefficient de frottement Réseau hydrogéologique
Calcul de fondation	Portance des sols
Tassements d'un remblai	Teneur en eau

À chacune de ces problématiques correspond un modèle. Le même objet « sous-sol » pourrait ainsi avoir de très nombreux modèles. Il faudra en choisir un et nous pensons que le plus intuitif à comprendre est certainement un modèle bâti sur la **nature des matériaux** (argile, sable, grès, calcaire, limon).

Les **modèles plus spécialisés** peuvent être bâtis par les experts à partir de celui-ci et des données géotechniques collectées. Ils utilisent la notion de systèmes :

- Modèle du système **d'extraction** des matériaux.
- Modèle du système **d'hydrogéologie**.
- Modèle du système de **réutilisation** des matériaux.

La MN permet de :

- **gérer** et de **rendre accessibles** ces nombreux modèles ;
- avoir en **structuration** de base du projet les **objets** dont la nature des matériaux est homogène.

C2 – Modèle de données

Enjeu majeur : communication et partage d'informations

Aujourd'hui, la communication et le partage de l'information sont devenus un enjeu majeur, tout spécialement dans le domaine des **infrastructures linéaires**. En effet, pour ce type de projet, le nombre de données d'entrées nécessaires ne permet plus une mémorisation par le chef de projet.

Les informations attachées aux objets

Nous sommes passés, depuis 15 ans, de la manipulation de plans à la gestion de fichiers informatiques. Nous entrons actuellement dans l'ère du *Product Data Management* (PDM) ou « gestion des données techniques ».

Gérer et rendre directement accessible une information sans passer par les documents qui l'ont portée jusqu'à présent est un changement considérable. Ce changement d'échelle dans la gestion d'un projet est rendu possible seulement par les **avancées technologiques** et par la **MN**.

Les supports d'information

Les informations d'un projet sont portées par des **supports très variés** :

- règlements, lois ou standards à appliquer ;
- plans, notes de calcul, dossiers ;
- sortants de logiciels ;
- supports multimédia ;
- courriers, messages électroniques ;
- réunions, visites de chantier.

La MN constitue un **nouveau support** qui peut porter toutes les informations et permet de les visualiser.

Il s'agit donc de passer de ces supports variés à l'affectation structurée, à l'objet pertinent de la MN. Ce **passage** peut se faire soit **automatiquement**, soit manuellement. Vu le nombre d'informations à manipuler, il est évident que le transfert manuel ne peut être qu'exceptionnel.

La nécessité d'un modèle de données unique et d'un format d'échange neutre

Deux conditions pour que ce transfert puisse être automatique :

- Le **modèle** de données de la maquette doit être **défini, connu** de tous, et **respecté** par tous les outils fournissant les informations.
- Le **format d'échange** entre ces outils et la MN doit être **unique**.

Le principe même de la MN est de permettre à chaque logiciel métier d'échanger uniquement avec la MN et d'éviter les échanges de données entre les logiciels métier. Ce principe conduit à imposer pour ces échanges un **format unique et neutre** qui doit être respecté par tous les éditeurs de logiciels métier.

La standardisation du format d'échange n'est **pas suffisante** pour permettre d'échanger les informations automatiquement. Il faut également que le modèle des données soit standardisé et partagé par les logiciels métier tant pour leurs **entrants** que pour leurs **livrables**.

Si ces conditions ne sont pas respectées, il faut alors :

- **entrer manuellement** l'information après l'avoir extraite du support,
- ou **stocker** le support original dans la MN (document attaché) et **l'exploiter** ultérieurement comme on le fait actuellement avec la GED.

Ces deux contraintes, évidemment, réduisent fortement l'intérêt de la MN.

Caractéristiques des informations de la MN

Nous avons déjà abordé les trois types d'information attachée à un objet : identification et géométrie, attributs, relation. Voyons maintenant d'autres éléments caractérisant les informations contenues dans la MN.

Les « liens de parenté »

Parmi les liens d'un objet, les liens de parenté ont une place à part. Ils sont évidemment des informations à attacher à chaque objet. Nous distinguons :

Liens avec	Nous entendons par là
l'objet « parent »	L'objet plus global dont l'objet considéré constitue une partie . Ex. : le pont pour une pile.
les objets « enfants »	Les objets du niveau supérieur dont l'agglomération constitue l'objet considéré. Par exemple pour la pile, il peut s'agir de la semelle, du raidisseur et du fût.
les objets « cousins »	La classe d'objets similaires à laquelle l'objet peut appartenir, ou le système auquel appartient l'objet.

Une information a ses propres données

À chaque information doivent être associés :

- propriétaire,
- droits d'accès,
- date de dépôt dans la MN,
- date d'obsolescence,
- statut (de validation),
- appartenance à un système,
- incertitude associée,
- mode de visualisation.

Toutes ces données caractérisent l'information (donc la donnée) elle-même⁷.

Des documents gérés par la maquette...

Des informations sont directement échangeables avec la MN. En plus, la MN gère des **documents** et les **informations** qu'ils contiennent et qui ont été directement affectées aux objets.

Quelques types de documents doivent être associés à la maquette :

- contrats et avenants,
- règlements et normes utilisées,
- plans 2D,
- notes de calcul :
 - données d'entrée : hypothèses,
 - données de sorties : résultats des simulations,
 - note complète avec hypothèse, résultats et analyse des résultats,
- documentation technique,
- courriers.

... comme par une GED

Comme dans une GED, il faut un moteur de recherche pour retrouver ces documents. Il faut que chacun puisse les classer selon sa propre structure hiérarchique, dépendante de son propre métier.

Les documents doivent être numérotés, datés, indicés, indexés, et attachés en tant qu'attribut à un objet de la MN. La gestion des modifications de la maquette permet donc d'identifier l'**impact** sur les documents associés.

⁷ Techniquement, on appelle ces informations des métadonnées, car ce sont des données sur la donnée (de base).

Organisation du modèle de données

Définir des protocoles préfigurant des standards puis des normes

L'organisation de la MN doit s'appuyer sur les standards retenus par les acteurs majeurs de la profession. Certains standards sont appelés à devenir des normes.

Ces standards peuvent être précédés par des protocoles. Ceux-ci sont partagés par les premiers acteurs mettant en œuvre le modèle.

La définition de protocoles de modélisation, de chartes de travail acceptées par tous les acteurs est primordiale. Elle assure la **cohérence** des informations entre elles. C'est donc une des bases majeures du travail collaboratif. Ces protocoles sont la base commune à l'ensemble des logiciels et doivent inclure :

- L'élaboration de **gabarits** de fichier pour chaque logiciel, intégrant les paramètres de base : couleurs, textures, polices de caractères, liste d'attributs et jeux de propriétés (*property set*).
- Un **document de référence** décrivant l'organisation du travail, les procédures d'échanges et quelques conseils sur la configuration des stations de travail et du réseau.

Une fois que les utilisations sont définies, il est nécessaire d'identifier les responsabilités et les prérogatives du gestionnaire de la maquette

Définir les règles de modélisation

L'idéal est d'établir des protocoles de modélisation ouverts et communs qui peuvent être échangés et utilisés par tous les acteurs, sans égard aux applications utilisées.

L'utilisation d'un **format neutre d'échange** est la cible à atteindre. D'une manière plus pragmatique, dans un premier temps, un **protocole plus léger** et plus adapté peut être défini pour tous les intervenants ou la majorité d'entre eux.

La définition d'un protocole de modélisation ne concerne pas uniquement les **formats de données**, mais aussi le **cadre commun de modélisation** comme les unités, les origines, les structures d'objets et leurs attributs, les principes de projection, le maillage, les polices de caractères et autres paramètres communs.

S'inspirer des protocoles existant pour les plans 2D

L'exploitation des règles régit les plans 2D. Le protocole sur les informations doit donc préciser notamment :

- **organisation** des informations en éléments géométriques, attributs et liens ;
- **identification** des informations ;
- **nommage** des : objets, informations, systèmes, documents ;
- convention des **couleurs** facilitant la compréhension ;
- référence de **géolocalisation**.

Tous les logiciels utilisés doivent donc se conformer à un **protocole commun** pour toutes les informations partagées. Les **protocoles spécifiques** aux métiers peuvent si nécessaire être conservés pour les données privées.

Les modèles de données propres à chaque métier

La plupart des logiciels métier utilisent leurs propres modèles de données pour des raisons de **performance** et d'**efficacité**. Il est donc essentiel de **vérifier** que chaque logiciel est capable d'exporter des données vers la MN dans un **format utilisable**.

Détection des interférences

Les concepteurs doivent atteindre une conception sans aucune incohérence. Pour cela, il faut prévoir une **procédure de résolution** des interférences, aussi bien sur le plan **technique** que sur le plan **organisationnel**.

Il faut donc préciser comment :

- Organiser le **partage** des informations sur une plateforme collaborative.
- Établir et planifier les **étapes de coordination** et les **revues** de projet.
- **Vérifier** le modèle, détecter les *clashes* et les **hiérarchiser** avant la revue de coordination.

Visualisation des informations

L'accessibilité aux informations peut être choisie par métier ...

Dans le respect de l'élaboration de l'information au gré du projet, les informations sont organisées pour pouvoir y accéder sur la base du *Model View Définition*, c'est-à-dire par métier.

Le besoin en visualisation dépend en effet du corps de métier qui accède à la maquette : grossier pour certains, détaillé pour d'autres. Par exemple, l'ingénieur béton cherche à visualiser le ferrailage, et l'architecte cherche le calepinage⁸ de la matrice.

Si on donne un accès uniquement aux objets sur lesquels chacun intervient (l'ingénieur VRD, le géotechnicien ou le paysagiste), **on rend la MN lisible**.

Cela n'empêche pas l'ingénieur *Structure* de visualiser, sur demande, les données plutôt destinées à l'architecte. Il peut créer des liens, mais ne peut pas modifier les données.

... ou par interface...

Pour les besoins de la synthèse, on peut aussi envisager un **accès par interface** :

- plateforme tramway / aménagements de surface,
- station enterrée / plateforme tramway,
- hydraulique / parking enterré,
- signalisation / sécurité incendie / alimentation électrique.

... en veillant à l'unicité de la maquette

Il faut, cependant, veiller à l'unicité de la maquette. Il s'agit bien d'accéder à une seule base de données.

Si on coupe des morceaux de la maquette (structure, architecture, plateformes, etc.), ils « vivent alors leur vie » chacun de leur côté sans forcément prendre en compte les modifications apportées aux autres, et ne sont donc plus emboîtables.

Propriété et responsabilité des informations

Chaque information doit avoir un propriétaire

De la nécessité impérieuse de protection des savoir-faire et de la propriété intellectuelle naissent deux concepts : propriété et responsabilité des informations.

Il faut définir qui est le propriétaire de chaque information. En déposant une information dans la MN, celui qui l'a créée en définit la nature et en particulier si elle est :

- **Publique** : visible par tous les acteurs sans modification possible.
- **Privée** : modification possible par certains acteurs, gérée par les droits d'accès.

Le propriétaire est responsable de l'information partagée

Le dépôt dans la MN signifie que le propriétaire de l'information considère que l'information est **partageable** avec les autres acteurs et qu'il en **prend la responsabilité**. Le propriétaire est ainsi le **seul** à pouvoir **modifier** cette information. Il en garantit le statut de validation en application du processus qui est décrit en C4 ci-après.

Note : avant ce dépôt, l'information reste privée pour le métier qui la crée. C'est un brouillon. Il la travaille et en vérifie l'exactitude et, seulement après, la met à disposition du reste de l'environnement collaboratif.

⁸ Calepinage : l'art de montrer à l'échelle sur un croquis la disposition d'éléments de formes définies pour former un motif ou composer un assemblage, et d'en calculer le nombre nécessaire pour couvrir une surface ou remplir un volume.

Mise en œuvre du modèle de données

Choisir l'objet porteur de l'information

Une information doit être rattachée à un objet. Il faut donc choisir lequel.

Ce choix est en général assez intuitif. Nous n'avons pas établi de règles détaillées car il y a de nombreux cas particuliers qui les contredisent. Toutefois, il faut en général choisir l'objet du **niveau le plus général**, évitant de dupliquer l'information pour tous les objets « enfants ».⁹

Par exemple, la hauteur de la pile 2 d'un pont est attachée à l'objet pile n°2. Elle ne s'applique pas au pont (objet « parent »). Elle ne doit pas être dupliquée en caractéristique de la semelle, du raidisseur et de fût qui constituent cette pile.

Un travail lourd, mais créateur de valeur et porteur d'économies

Ce travail d'entrée des données dans la MN est lourd car il faut :

- **Définir** le modèle complet des données.
- **Vérifier** la bonne affectation.
- **Analyser** parfois les informations transmises, en **extraire** les données qui concernent l'objet, et **créer l'attribut** correspondant, en faisant référence au document initial.

■ **Aujourd'hui : trop de temps passé au détriment de la conception**

Le travail « d'épluchage » et de « digestion » des données freinent l'avancement des projets. Il est **coûteux en temps** (sélection, impression papier, affichage, classement, etc.). Il nécessite souvent l'expertise du chef de projet et ne peut servir qu'à lui-même car il dépend fortement de ses méthodes de travail.

Les premières données sont à peine ingurgitées, que de nouvelles arrivent et rendent **obsolètes** les précédentes. Ce gros travail **réduit le temps** disponible pour la **conception créatrice** de valeur.

■ **Avec la MN : une valorisation de l'investissement initial**

L'entrée des données n'est **pas renouvelée** pour chaque métier et chaque chef de projet, même si elle est sans doute lourde et chronophage.

La **capitalisation** sur les projets doit faciliter les futures définitions des modèles de données.

De plus, des **formats d'échange standardisés** avec les logiciels métiers permettent des automatisations qui limitent les interventions des experts aux inévitables adaptations.

Enfin, nous avons parlé du **dépôt des données** dans la MN. Elles sont destinées à être extraites de la MN pour être utilisées par les acteurs. Le gain de temps est encore plus important pour cette tâche car on a un **accès direct et facile** à la bonne information.

⁹ En conception de système d'information, la donnée est assignée à l'objet le plus fin pour lequel définir cet objet a un sens. Par exemple, si les 4 roues d'un véhicule sont identiques, le diamètre de roue est assigné à l'objet Véhicule. En revanche, si le diamètre des roues est différent à l'avant et à l'arrière, alors l'information est positionnée sur l'objet Essieu.

Mettre en place progressivement le modèle de données et l'adapter à l'usage attendu

La création de valeur et les usages attendus de la MN ont été décrits au chapitre B. Ils résultent de l'import et de l'export d'informations pour :

- modeler les objets ;
- réaliser des calculs ;
- réaliser des simulations et des évaluations ;
- produire des documents graphiques ;
- visualiser et présenter le projet.

Les **usages** attendus de la MN imposent la précision de **modélisation** à atteindre et la liste des **attributs** à utiliser et à renseigner pour les disciplines impliquées.

Généraliser la mise en place du modèle à tous les domaines avec les différentes précisions est peut-être trop ambitieux. Il est sans doute largement préférable de définir un **niveau d'ambition raisonnable** (ex. : se focaliser sur la géométrie 3D et quelques usages modestes) plutôt que de penser que la MN peut répondre à tous les besoins.

Utiliser la MN pour répondre à **l'ensemble** des besoins exprimés peut être même **dangereux**, parce que rien ne sera traité avec la qualité requise. Cela peut être une source de **déception**, et peut même conduire à un **rejet** de nouvelle façon de travailler.

En revanche il faut veiller à ce que la maquette ne soit pas trop pauvre au risque de la rendre **inutile**.

Gérer ensuite les évolutions des informations

L'organisation des informations ayant été mise en place, il reste à les gérer durant le cycle de vie. Lorsque l'information est modifiée, elle est périmée. C'est alors une **nouvelle information** qui la remplace.

En revanche, les **éléments** qui caractérisent l'information **évoluent** au cours du cycle de vie. Il faut donc les :

- **gérer et mettre à jour**,
- **archiver** avec l'information lorsqu'elle est périmée.

Cette gestion est faite par la MN dans le cadre de la gestion des modifications, de la validation, des variantes, etc. décrite dans les modules C4 et C5 ci-après.

C3 – Échange et partage des informations

Après avoir décrit l'organisation des données, nous allons maintenant exposer comment vont s'organiser les échanges.

L'environnement MN

L'Environnement MN fait l'objet du schéma d'architecture fonctionnelle ci-après.

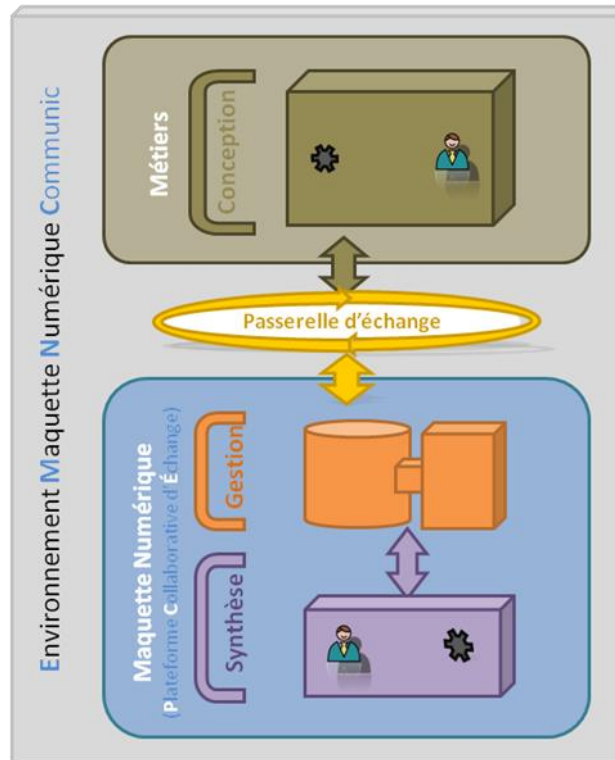


Figure C3-1 : Schéma simplifié d'architecture des fonctionnalités

Les fonctionnalités Métier

Les fonctionnalités Métier de conception sont :

- **modélisation** du projet ;
- **simulations, calculs** et **visualisations** métier ;
- **édition** de documentation.

Les outils qui permettent de remplir ces fonctionnalités sont appelés *Logiciels Métier*. Ils viennent en tant **qu'interface homme-système** informatique en :

- **entrée pure** (ou modification manuelle) par les outils d'intégration des données issues des rapports initiaux et spécification et des modeleurs ;
- **boucle** (simulation, calcul, analyse) ;
- **sortie pure** (consultation, navigation, annotation, arbitrage, exports graphiques, vidéos ou alphanumériques).

La passerelle

Pour que les *Logiciels Métier* puissent échanger avec les *Outils MN*, il faut vérifier que le format d'échange est conforme au standard convenu. Cette vérification (qui pourra comprendre quelques conversions) constitue la fonctionnalité de *Passerelle* entre les deux pavés.

Les fonctionnalités Maquette Numérique

Les fonctionnalités MN sont de deux types :

- **Gestion** des informations donnant aux acteurs les informations dont ils ont besoin.
- **Synthèse** offrant :
 - la **vision complète** du projet,
 - le **contrôle** de sa **cohérence**.

Les outils qui permettent de remplir ces fonctionnalités de maquette numérique sont appelés *Outils Maquette Numérique*, ou *Outils MN*.

Architecture fonctionnelle

Le schéma suivant décrit plus précisément les fonctionnalités majeures intégrées à l'Environnement MN.

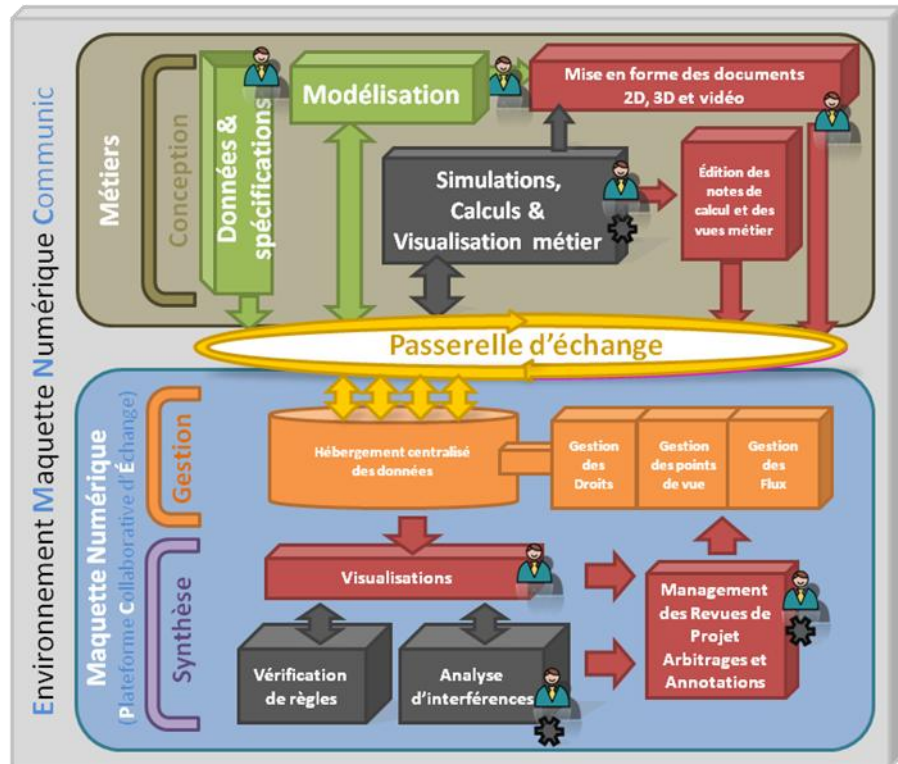


Figure C3-2 : Schéma d'architecture des fonctionnalités élémentaires

À chacun des pavés de ce schéma correspondent des tâches élémentaires.

Les processus du modèle global conduisent à se déplacer d'un pavé à l'autre en enrichissant les informations avec l'aide de logiciels (métier ou MN).

**Cycle de vie
l'information projet**

Pour comprendre le principe, nous avons dessiné ci-après un des circuits possibles avec la mise en évidence :

- des **échanges**, fréquents, entre le concepteur et la MN ;
- du **passage stratégique par la passerelle d'échange** qui garantira le format standard des données.

Permettre le passage des informations à travers la passerelle de manière **sécurisée** et **automatique** est l'enjeu principal du modèle global de COMMUNIC.

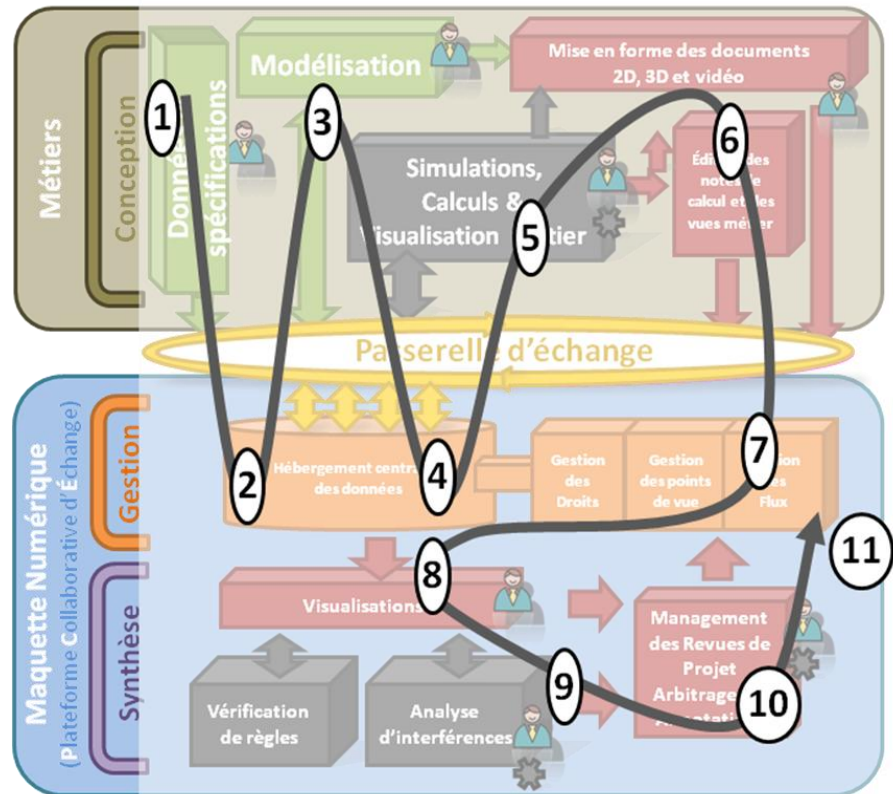


Figure C3-3 : Cycle de vie simplifié d'une donnée entre les outils de l'Environnement MN

Dans cet exemple, le cycle de vie des données projet entre les différents logiciels suit les étapes suivantes :

Étape	Action
1	Les spécifications du client ainsi que les données disponibles sont ordonnées et classifiées sur l'environnement du projet.
2	Des données, des catalogues et chartes de modélisation (modèles par défaut) hébergés par la MN, sont extraits.
3	Une réponse géométrique aux besoins exprimés par le client est modélisée.
4	Cette modélisation est hébergée au sein de la plateforme.
5	La conception est complétée par des analyses, des calculs ou simulations.
6	Les résultats des simulations et calculs sont documentés.
7	Le tout est hébergé et géré dans la MN.
8	La navigation dans la MN permet de visualiser les propositions.
9	Les tests de cohérence, d'intégration et de synthèse sont réalisés et analysés.
10	Les choix de conception donnent éventuellement lieu à des arbitrages.
11	La conception retenue est stockée dans la MN pour être vue et utilisée par d'autres acteurs.

La plateforme collaborative d'échange : le cœur du système

Comme le met en exergue le cycle de vie d'une donnée au cours d'un projet, la plateforme collaborative d'échange est le cœur du système. Elle ne peut être mise en œuvre **efficacement** que si les outils (outils métiers principalement), qui la composent et ceux qui « discutent » avec elle, sont compatibles avec un **format neutre d'échange**.

Outils composant la plateforme collaborative d'échange de la MN

Comme les autres outils, la MN est composée de «**briques logicielles** » dont nous recommandons un **assemblage logique** tel que présenté ici.

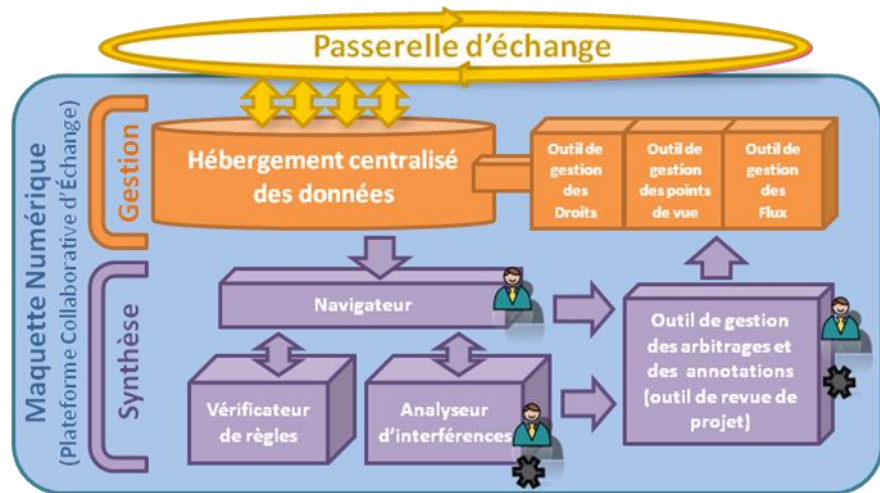


Figure C3-4 : Outils composant la Plateforme Collaborative d'Échange de la MN

Les éditeurs de logiciels regroupent parfois différemment ces briques, tout en remplissant tout (ou une partie) des fonctionnalités présentées dans le livrable L2. Le plus souvent, ils mélangent les fonctionnalités de modélisation et de gestion des données mais sans couvrir réellement les besoins exprimés dans les livrables du projet COMMUNIC notamment dans le livrable L3.

Le système de transfert

Pour accéder aux données du projet, il faut passer au travers d'un « système passerelle de transfert » qui gère la **viabilité des données** entrantes et sortantes.

Le « système passerelle » est à la fois :

- un **système de transfert** interprétant les données entre l'outil de l'utilisateur et la plateforme collaborative ;
- le **garant du bon fonctionnement** des différents outils entre eux.

Format neutre d'échange

Le format neutre d'échange est la clef de voute de l'environnement de travail.

Il permet aux outils de pouvoir **échanger** des informations de conception et de paramètre de calcul.

Il assure le **lien** avec les applications externes de création/modification/édition d'objets ou d'attributs. Les outils métier et de synthèse ont pour principales fonctions celles de :

- **création** de données donc d'objets et de leurs attributs, tant les champs que les valeurs de ces derniers (en amont) ;
- **édition** (modification) des données.

Son principe et sa structure ont été exposés dans les modules C1 et C2.

Passerelle de transfert

La passerelle de transfert est une **matrice de conversion** des données entre les outils métier et de synthèse, et la plateforme.

■ L'interprétation

Elle **interprète les besoins** des outils en termes de données. Elle **fournit les données** nécessaires à l'analyse, la simulation ou le calcul.

En retour, elle **recupère** les données créées ou modifiées par ce processus d'étude, les **incrémente** alors dans l'hébergement central via le système de gestion présenté plus bas.

Elle assure donc la **conformité** à la formalisation interne.

■ Le contrôle

Elle contrôle la **cohérence informatique** des données entrantes et sortantes. Cela permet de maintenir un niveau de qualité de l'information suffisant pour éviter les problèmes de cohérence du modèle lors des imports-exports vers les logiciels métier ou de synthèse.

Elle veille à :

- la **cohérence** des **paramètres** entre eux et des **liens** entre objets,
- leur bonne **traduction**,
- la **fiabilité** et de la **cohérence des données** géométriques.

Elle contrôle donc la compatibilité informatique et la conformité par rapport à la formalisation de l'information retenue (IFCInfra, IFC, etc.).

Elle ordonne les données enregistrées dans une arborescence de projet (pour les niveaux primaires) et dans l'arborescence sémantique (pour les niveaux secondaires).

Le système de gestion des données

L'outil de gestion des flux

Le système de gestion des données doit être d'autant plus **sécurisé** que la plateforme est collaborative. Pour cela, on distingue **3 types de verrous** sécurisant l'accès aux données.

L'outil de gestion des points de vue

Le premier verrou est un **régulateur** qui gère les flux électroniques de données dont les modalités sont décrites dans le module C4. Il contrôle les flux en enregistrant les créations et modifications de données de chaque utilisateur.

Le deuxième verrou est l'outil de gestion des « points de vue » (*Model View Definition*). Il permet d'adapter la vue du modèle en fonction du profil de l'utilisateur (spécialisation de l'information communiquée en fonction du métier et du rôle de l'utilisateur).

Il **autorise ou non l'accès** en lecture comme en écriture de données à chaque branche du projet via le filtre « point de vue ». Ce filtre définit, en fonction du métier de l'utilisateur, une couche supplémentaire au criblage des données accessibles.

Note : à chaque fois que l'on parle de personnalisation il s'agit d'un tri par rapport au métier de l'utilisateur.

L'outil de gestion des droits

Le troisième verrou du coffre-fort représente la partie gestion de la plateforme. Les parties de modèle mis à disposition de l'utilisateur sont uniquement celles dont l'accès lui a été autorisé sous 4 modes :

- lecture simple,
- annotation,
- utilisation « gelée »,
- écriture/modification,

et en fonction du couple de critère définissant l'identité d'utilisateur au sein de la plateforme d'échange :

- son **identité** (état civil et appartenance à une entité faisant partie de l'équipe projet),
- son **rôle** au sein du projet (son métier et sa position au sein de l'organigramme du projet).

Les types de données

Le stockage des données doit être ordonné, selon ces trois types :

Données	Caractéristiques
Actives	Elles sont créées, utilisées ou modifiées par le processus de conception comme de réalisation du projet, regroupant toutes les données : <ul style="list-style-type: none"> • communes à tous les parties prenantes du projet, • privées (c'est à dire propres à l'utilisateur ou à l'entité), • publiques (au-delà des acteurs impliqués dans le projet et potentiellement diffusables au grand public).
Archivées	Elles correspondent à des versions passées ou des variantes non retenues du projet ainsi que leur motif d'abandon. Ce sont donc des données de statut communes du projet ou privées mais non publiques.
Références générales	Règlements, standards, lois.

En résumé

L'information hébergée est ainsi **sécurisée, tracée, contrôlée et formalisée** (voire normalisée mais ouverte) de façon **centralisée, accessible et vivante**.

Toute modification de données au sein de la plateforme collaborative fait l'objet d'une diffusion de l'information aux personnes impactées par cette modification.

Le système de synthèse de projet

Le navigateur

Le navigateur est un simple « **visualisateur** » de données. Il permet d'accéder, via la géométrie ou via une arborescence, aux données contenues dans le stockage central. Un moteur graphique permet de naviguer dans la maquette, de voir les propriétés des objets, d'effectuer des requêtes d'affichage multicritères pondérés.

Une **requête d'affichage pondérée** consiste à poser une question à la maquette, ayant comme critères les propriétés des objets. On obtient alors un affichage particulier des objets répondants à ces critères avec une pondération de leur importance.

Le vérificateur de règles

Lors de la conception, le vérificateur de règles permet de contrôler le respect de certaines **règles de l'art** comme les gabarits routiers sous les ponts ou la réglementation PMR dans les bâtiments ou les espaces extérieurs

L'analyseur d'interférences

L'analyseur d'interférences est simple dans son principe. Il effectue sur tout ou une partie du projet un traitement d'identification des **interférences géométriques** entre objets. Puis il identifie et marque les objets concernés par le *clash* ainsi repéré et génère un rapport global personnalisé par utilisateur autorisé de la MN.

L'outil de revue de projet

L'outil de revue de projet est aussi appelé « *Project Reviewer* ». C'est l'outil des réunions. Il permet, grâce au navigateur, de se déplacer au sein du projet virtuel.

L'outil de revue sert principalement à :

- Voir graphiquement le **résultat** des simulations et analyses d'interférence, et de les croiser.
- Passer en revue les **points critiques**.
- Enregistrer dans la maquette les **conclusions** et les **arbitrages** réalisés en réunion de projet ou de synthèse.
- Effectuer les passages de jalon et les validations progressives des données du projet.

Après avoir hébergée et adressée l'information issue de ces décisions, il est alors aisé de la **diffuser** de façon personnalisée et d'assurer sa **traçabilité**.

C4 – Processus de validation

Introduction

Dans les modules précédents, nous avons constaté que le travail collaboratif, basé sur l'utilisation d'une MN partagée, exigeait une grande discipline d'organisation et de structuration des informations. Cela permet d'atteindre le niveau de qualité indispensable pour assurer la confiance entre tous les partenaires.

Piloter le niveau de qualité

Le niveau de qualité requis doit être vérifié dès les premières esquisses et premiers contacts avec le client. Il faut absolument :

- **structurer** les données ;
- définir avec l'ensemble des participants un **cadre de travail commun**, souple et évolutif, et aussi strict et consensuel.

Piloter le degré de fiabilité

L'appréciation du degré de fiabilité des informations concerne le contenu, c'est-à-dire la qualité de l'étude. Cela nécessite un **processus qualité** sur le :

- **contrôle** et la **validation** des informations créées et manipulées ;
- **contenant**, c'est-à-dire les outils utilisés pour créer, modifier, stocker, échanger et partager l'information.

Dans ce module, nous abordons donc le processus de validation, indispensable pour :

- **responsabiliser** les acteurs,
- asseoir la **confiance** entre les partenaires,
- assurer la **traçabilité** des décisions prises.

Phases du cycle de vie d'un projet

On commence donc par découper le projet en **zones** et **ouvrages**. Puis, on **organise**, et le travail à effectuer, et la MN, autour du cycle de vie, depuis les premières étapes de conception jusqu'à l'exploitation de l'ouvrage.

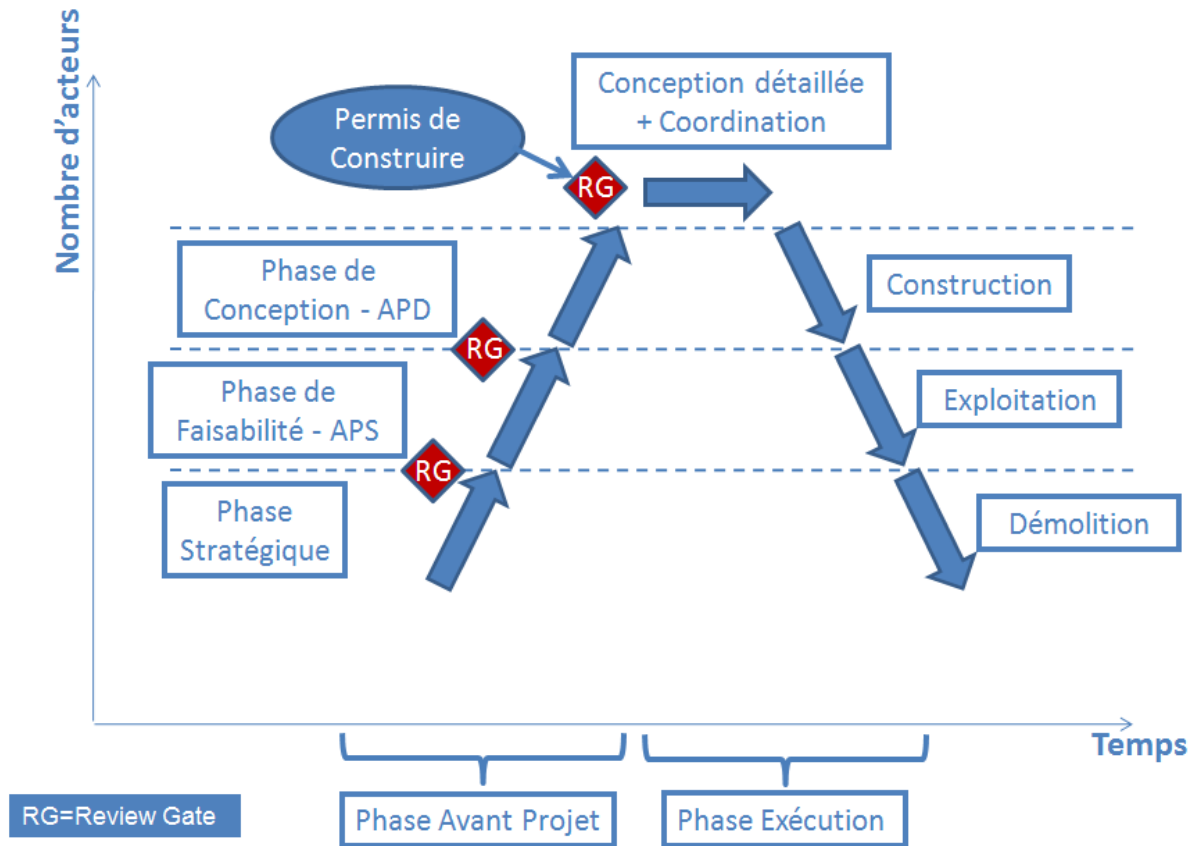


Figure C4-1 : Étapes du Cycle de vie d'un projet

Phase	Description
Stratégique	Initialisation du projet et définition des buts à atteindre (incluant les besoins de la Maîtrise d'œuvre souvent imprécis au démarrage), des délais à respecter, du budget à financer. Aucune MN n'est disponible, peu d'informations géométriques sont accessibles.
Faisabilité (avant-projet sommaire)	Évaluation des besoins techniques et financiers. Premières variantes d'enveloppe en fonction des contraintes administratives, géologiques, géographiques, etc. Quantités et délais globaux.
Conception (avant-projet détaillé)	Conception technique et Élaboration des variantes. Quantités et délais pour lancer les appels d'offre et pour estimer le coût exact du projet.
Construction	Plans d'exécution et Réalisation. Réalisation du DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés) par mise à jour de la maquette avec ce qui est réellement exécuté sur le chantier.
Exploitation	Exploitation et Maintenance. Maintien à jour des données modifiées, changées, remplacées. Toutes les informations non géométriques sont associées aux données 3D.
Démolition	Rénovation, démolition partielle ou totale de tout ou partie du projet.

**La validation,
garante de la
confiance entre
les partenaires**

Le but de la validation est de garantir l'**existence** et l'**intégrité** d'un document ou d'une information (non altération et acceptation de son contenu).

La validation sert à **figer un état donné**. Elle certifie que les informations sont **exactes** à un instant donné, et qu'elles peuvent être utilisées par les autres. Elle permet donc d'établir la confiance dans les relations entre les différentes parties.

Processus de validation	Objectif : vérifier que l'objet conçu est
interne métier (au sein du bureau d'étude en charge de la donnée)	conforme aux spécifications demandées.
projet (externe au bureau d'étude en charge de la donnée)	cohérent avec son environnement et avec les autres disciplines en interface avec l'objet.

**Aujourd'hui,
la validation
concerne des
documents**

Traditionnellement, le circuit de validation porte sur des plans 2D, des notes de calcul et plus généralement des dossiers (sur papier ou numérisés) :

- La **validation** d'un document entraîne la validation de toutes les informations contenues.
- La **non-validation** du document n'entraîne pas systématiquement la non-validation de toutes les informations. Elle s'accompagne de commentaires qui listent les informations fausses ou non conformes.

**Avec la MN,
la validation
concerne les
informations**

L'utilisation d'une MN partagée remet en question le processus de validation.

Il s'agit de valider chaque **objet géométrique** et non plus de valider une vue particulière de la MN (point de vue 2D d'une maquette 3D). Cela exige donc la validation de toutes les informations qui le compose : **géométrie, attributs métiers** associés et **liens**.

La géométrie et les attributs sont de la responsabilité de **disciplines différentes**. Il n'y a pas donc d'autorité capable d'approuver l'ensemble des informations qui décrivent un objet. Il faut un découpage de l'objet en sous-objets par métier.

De plus, la validation **complète** d'un objet n'est pas toujours souhaitable. En effet, certaines informations sont facultatives pour continuer la conception ou pour commencer l'exécution de l'objet. Par exemple, la couleur d'une peinture ne remet pas en cause la forme d'un poteau en béton. Il peut donc être construit même si l'attribut « couleur » du poteau n'est pas validé par l'architecte ou le client.

C'est pourquoi le processus de validation concerne les informations et pas directement les objets.

**Nouveau processus
basé sur la validité
tacite : information
partageable**

De nombreuses entreprises du secteur de l'industrie appliquent déjà ce processus de validation tacite. Il est basé sur un nouveau statut donné à l'information : « partageable ». Dès que la donnée est **partagée**, elle est considérée comme **valide** tant qu'elle n'est pas en interférence ou en conflit avec une autre donnée.

C – Structuration et circulation des informations

C4 – Processus de validation (suite)

La validation, garante de la confiance entre les partenaires (suite)

L'approbation est réservée aux changements de phase

Il y a néanmoins des étapes qui nécessitent de figer des informations pour pouvoir continuer. L'exemple le plus évident est bien sur le **passage de la conception à l'exécution** avec le Bon Pour Exécution (BPE) donné aux documents d'exécution. Il y a d'autres exemples comme le **passage de la conception amont à la conception détaillée et d'exécution**.

À ces changements de phase, les informations concernées doivent être approuvées et deviennent figées. Le diagramme ci-après montre le statut des données publiques (partagées).

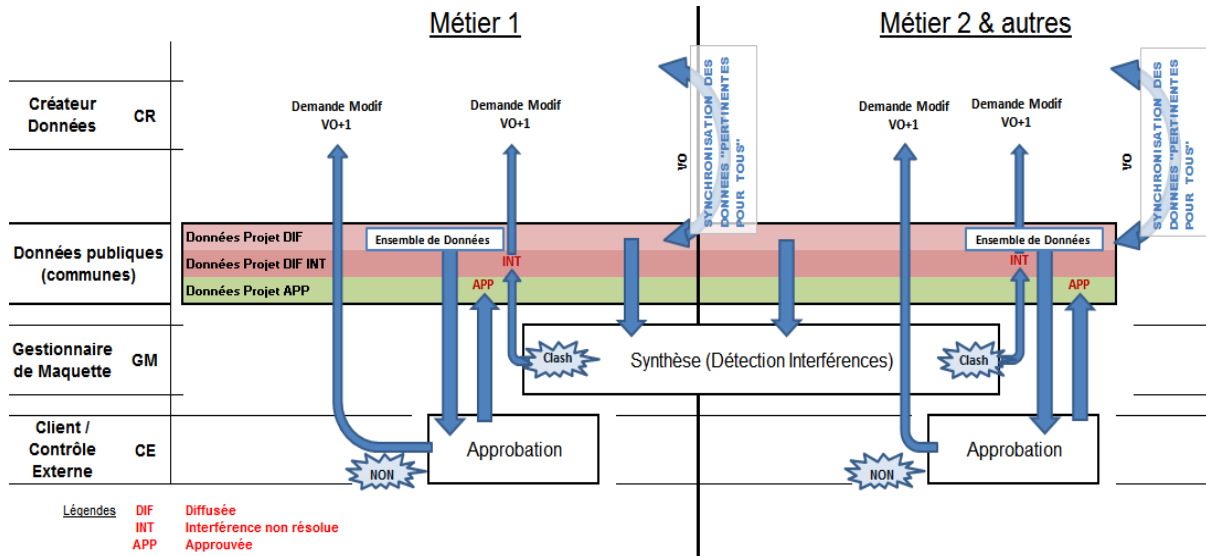


Figure C4-2 : Évolution des statuts d'une donnée

Statuts possibles de validation

Dans la MN, une information peut avoir un des 3 statuts de validation suivants :

Statut de validation	Traitement associé
DIF (Diffusée partageable)	La donnée peut être partagée. Elle a été vérifiée par l'expert du métier qui l'a déposée. Elle est utilisable par tous les partenaires.
INT (Interférence non résolue)	La donnée crée un problème à un autre acteur où le gestionnaire de la maquette a détecté une incohérence. La donnée devient « INT ». Deux options doivent alors être distinguées : <ul style="list-style-type: none"> avec décision à prendre (qui est en charge de sa résolution ?, pour quelle date ?, etc.) avec décision prise (une action est alors attendue de son propriétaire – demande de requête de modification avec un indice officiel VO+1). Remarque: pendant le même temps, les données peuvent continuer à évoluer.
APP (Approuvée)	Le Contrôle Externe (CE) approuve la donnée et autorise le passage à une phase suivante. Ne passent en APP que les données : <ul style="list-style-type: none"> qu'il faut figer pour la phase suivante, en statut DIF. Si une donnée doit être modifiée pour être approuvée, (réserve), son statut passe en INT.

Flux de validation

Le processus de validation est primordial pour garantir la pertinence de la MN.

Le **flux complet** doit être **défini au plus tôt** pendant la phase d'avant projet. Les noms des rôles et des décideurs doivent être spécifiés, de même que les rôles et les acteurs qui donnent les indices et le statut aux données.

Pour éviter des validations laborieuses, le **statut** doit pouvoir être appliqué à un groupe de données (et non pas une donnée après l'autre). Des outils d'aide à la modification des statuts sont encore à développer.

La validation est liée au **niveau de maturité** de l'objet. L'ouvrage sera détaillé de plus en plus profondément, à chaque phase principale du cycle de vie du projet.

Note : Sauf cas particulier, le CE n'est qu'en fin de phase et en particulier pour le passage en phase d'exécution.

Un processus de validation développant la confiance

Le processus de validation permet d'améliorer la **confiance dans l'outil et entre les intervenants**. Il repose sur :

- une définition claire des **responsabilités**,
- une identification performante des **clashes**,
- une identification des **disciplines** impactées,
- un **traitement** collaboratif des **clashes**,
- un **suivi** des modifications ou améliorations nécessaires.

Les revues

La nécessité des revues

Aujourd'hui, la validation des documents se fait par des acteurs dont la mission est de contrôler et d'approuver. Ces **missions** sont **internes** à l'organisation (contrôle intérieurs) ou **externes** à l'organisation (contrôles extérieurs).

Avec la MN, il y a toujours un contrôle intérieur par métier qui débouche sur le **partage de l'information** (passage au statut DIF).

En revanche, le contrôle extérieur à chaque métier est **plus collaboratif**. Il se compose de :

- vérifications automatiques (règles et cohérence) par l'outil MN ;
- l'usage de l'information par les autres acteurs.

Les revues de projet existent déjà dans la conduite des projets. Elles sont surtout destinées à échanger sur l'avancement du projet.

Avec la MN, l'information sur le projet est **nativement partagée**. Les revues peuvent et doivent être le lieu de **résolution** des problèmes. Comme le principe du processus de validation est basé sur la **détection des clashes** et leur résolution, les revues de projet sont les jalons incontournables de la conduite des projets.

De même, les changements de phase nécessitent une collaboration importante entre les acteurs. Les décisions d'approbation sont prises dans des revues que nous pouvons appeler « **revues de phase** ».

Enfin, chaque métier met en place un processus de validation des prestations qui lui sont confiées. Ce processus se termine par la décision de partage de certaines informations. Par similitude, nous pouvons appeler « **revue de conception** » l'instance de prise de cette décision.

Les revues de projet au cœur du processus

Le but des revues de projet est de vérifier que les **informations** contenues dans la MN ne sont **pas en conflit**.

Elles permettent, pendant la conception, est de **diminuer** le nombre de **clashes** rencontrés généralement lors de la construction.

La complexification et la diminution du temps de préparation des nouveaux projets rendent primordiale la **maîtrise de la coordination** de la conception.

De plus, la méthode actuelle de coordination réalisée à partir de plans 2D est un processus fastidieux, source de nombreuses erreurs et incohérences. En effet, il n'est pas automatisable et reste donc uniquement humain.

Un outil de détection automatique des clashes

La détection de *clashes* est le processus qui consiste à **fusionner plusieurs modèles partiels 3D** en un seul modèle global. Le but est de **contrôler** les :

- **interférences** entre les différentes disciplines impliquées dans la conception du projet ;
- **inexactitudes** entre la conception et les réglementations en vigueur.

Le résultat de cette **vérification automatique** est une liste exhaustive de *clashes* qui représente la base du processus de coordination.

Ce processus est contraint par l'acceptation de tous les intervenants à travailler avec le même :

- **protocole** de modélisation,
- **planning** d'avancement,
- souci de **niveau de détails**,
- **format d'échange**.

C'est l'outil fournissant les entrants des revues de projet.

Des revues efficaces...

Afin de parfaitement organiser une revue de conception, il est nécessaire de préparer avec précision les **jeux de données** et de hiérarchiser les **clashes**. Cela demande du temps et les compétences d'un expert, mais les avantages sont nombreux.

Les revues de projet sont plus efficaces car avec la MN, le modèle consolidé montre la conception en cours. Les incohérences deviennent alors compréhensibles immédiatement.

...économiques en temps...

La MN et les revues de projet sont économes en temps car la phase de détection de *clashes* est accélérée. En effet, les incohérences sont détectées automatiquement.

Elles sont filtrées et classées, mais elles sont **identifiées plus rapidement** que dans un processus traditionnel basé sur la vérification de la cohérence de plans 2D entre eux.

...améliorant la qualité

La MN et les revues de projet améliorent la qualité de la conception et la fiabilité des données. Le partage de la compréhension du projet, l'économie de temps réalisée sur la détection des *clashes* et la meilleure qualité des données permettent d'optimiser le projet.



Notion de date d'effectivité

La notion de date d'effectivité permet de définir un jeu d'informations nécessaires à la validation d'un objet (les hypothèses qui ont servis à sa conception).

Pour concevoir un objet et ses attributs, on utilise des **informations d'autres objets**. Au moment de la conception, ces informations constituent donc des **hypothèses** dont il faut gérer les modifications ultérieures.

La date d'effectivité permet cette gestion. Elle peut être définie comme la **date de dépôt** de l'information qui tient compte des versions antérieures des entrants qui l'ont générée.

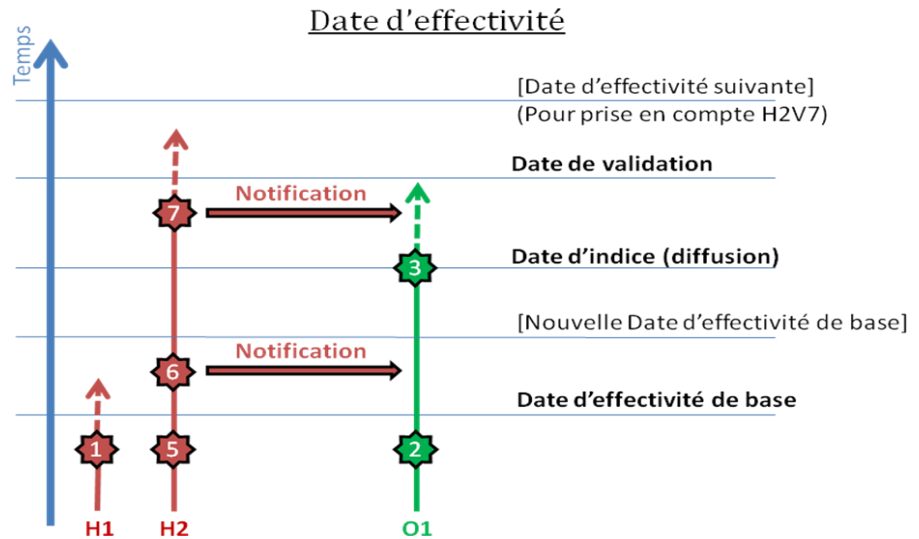


Figure C4-3 : Notion de date d'effectivité

Situation initiale Nous considérons l'objet O1 est lié aux objets H1 et H2 (ex. : une poutre en appui sur 2 poteaux) :

Objet	Version initiale Indice
O1	V2
H1	V1
H2	V5

Supposons que le concepteur de O1 reçoive une demande de modification (ex. : modification de l'équarrissage de la poutre).

Dates d'effectivité Au moment où le concepteur commence son travail de modification, c'est sa « date d'effectivité de base » des hypothèses qu'il prend en compte.

Si, pendant son travail, H2 passe en V6 (ex. : déplacement d'un des 2 poteaux), le concepteur (propriétaire temporaire de O1) peut recevoir une **notification** qui lui signale cette modification.

Si le concepteur prend en compte ce nouvel indice, la date d'effectivité change et devient « **nouvelle date d'effectivité** ». S'il ne désire pas prendre en compte ce nouvel indice, la date d'effectivité précédente ne change pas.

Note : dans notre exemple, les changements opérés dans H2V6 ou H2V7 n'ont peut être aucun impact sur O1.

Date d'indice (diffusion) La date d'indice est la date de la **fin de la validation interne** et de la **mise à disposition** des documents pour les autres partenaires. Lorsque le concepteur finalise son travail, l'objet O1 passe à l'indice V3. Il dépend des versions des objets liés à la date d'effectivité considérée.

Lorsque la demande de validation de O1 est envoyée au contrôle externe, un **package complet de données** est associé à la demande. Ce package contient l'ensemble des données qui ont servies à l'élaboration de O1V3. On lui associe la date d'effectivité, qui permet de retrouver les indices des objets nécessaires à sa validation (O1V3 associé aux indices de H1 et H2).

Date de validation Pendant la validation de O1V3, le **modèle** complet n'est **pas figé**. Il peut évoluer et les objets peuvent changer de version (ex. : H2 peut passer en V7).

Malgré cela, les nouveaux indices ne sont pas pris en compte, et le validateur possède bien un package complet et cohérent qui lui permet de mener à bien sa tâche.

Remarque importante : Dans la MN courante, on ne visualise que les derniers indices des objets, même si les indices précédents sont accessibles dans le PLM.

En conclusion On voit donc que les dates d'indice ne permettent pas de savoir qu'elles sont exactement les données qui ont soutenu la conception d'une version.

La seule **date pertinente est la date d'effectivité** qui leur est antérieure. Il convient donc de l'associer à chaque information et de l'utiliser dans les vérifications de cohérence.

Notion de diagramme de maturité

La validation de chaque étape :

- Fige les **hypothèses** à respecter (l'enveloppe dans laquelle il faut se contraindre).
- Est **ferme** et **définitive** (le retour à un niveau de maturité antérieur est source de réclamations).

Phases de maturité pour définir un état stable

Chaque nouvelle étape enrichit la précédente. Il faut maintenir la **cohérence** entre les phases, et vérifier que les **besoins** initiaux sont **respectés**.

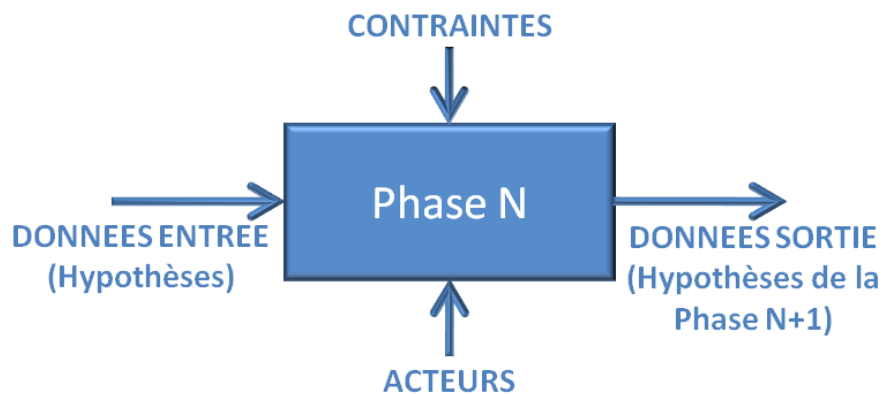


Figure C4-4 : Élaboration d'une phase du Projet

C – Structuration et circulation des informations

C4 – Processus de validation (suite)

Notion de diagramme de maturité (suite)

Le niveau de maturité le plus élevé correspondant au « Bon pour exécution »

Lorsque le niveau de maturité le plus élevé est atteint (phase « construction »), cela correspond à un « Bon pour exécution » de l'objet.

Il faut s'assurer que tous les composants :

- ont atteint leur **niveau de maturité** maximal,
- sont **approuvés** afin de valider la globalité de l'objet.

Dans l'exemple ci-après, tous les plans d'exécution doivent être validés au niveau de maturité 4 afin que la pile globale soit validée au niveau 4. Ce n'est pas parce que l'objet est validé au niveau 1 qu'il peut être réalisé ! Tous les objets composant l'arborescence doivent être validés individuellement au niveau 4.

On définit actuellement une **liste prévisionnelle** exhaustive de plans nécessaires à la réalisation d'un projet. De même, l'utilisation d'une MN nous impose de définir dès le début la **liste des objets à concevoir**. Au niveau le plus fin, il s'agit des composants d'un objet global, ainsi que les méthodes constructives.

Validation par niveaux de maturité

La validation des composants doit suivre la **logique de construction**.

Il faut donc une validation par niveau de maturité :

La pile est validée au :	Lorsque les pieux, la semelle, le fût, la tête de pile et les appuis sont validés au :
Niveau 2	Niveau 2
Niveau 3	Niveau 3 ; c'est-à-dire lorsque que les sous-composants des objets précédents sont validés au niveau 3
Niveau 4 (Bon pour exécution de la pile)	Niveau 4

Note : Il n'est pas nécessaire que **l'ensemble** de la pile soit validée au niveau 4 pour **commencer** la réalisation des composants.

Exemple du découpage structurel de la pile

Le découpage d'un objet doit être flexible, afin de l'adapter au fur et à mesure de la conception. Mais il est aussi très structurant, et ne doit donc être modifié qu'avec parcimonie.

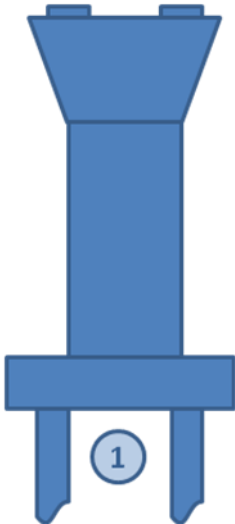
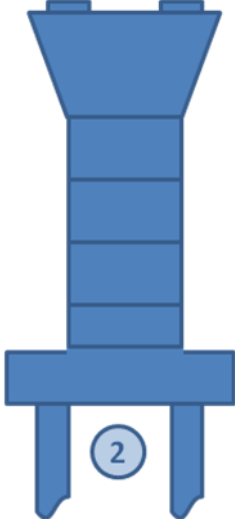
Pour l'exemple d'une pile (niveau 3), le découpage proposé est le suivant :

Niveau 4	Niveau 5	Niveau 6	
Ensemble de pieux	Un pieu	Forage	Béton
		Ferrailage	
Semelle	Semelle	Coffrage	Béton
		Ferrailage	
	Talonnnette	Sans objet	
Fût	Levée 1	Coffrage	Béton
		Ferrailage	
	Levées suivantes	Coffrage	Béton
		Ferrailage	
Tête de pile	Idem N4	Coffrage	Béton
		Ferrailage	Précontrainte
Appuis	Bossages	Coffrage	
		Ferrailage	
	Appareils d'appuis	Sans objet	

Exemple de diagramme de maturité

Dans ce paragraphe, nous allons illustrer nos propos par la gestion de **l'évolution de la validation** des objets constituant une pile de pont.

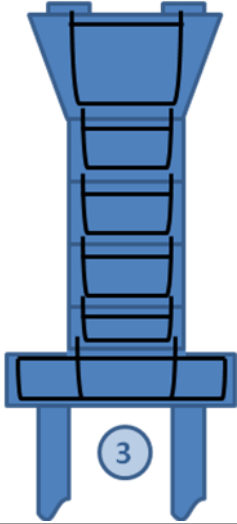
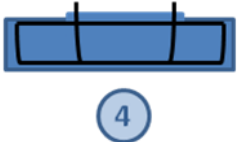
Cette évolution est aussi appelée diagramme de maturité.

Phase	Rôle	Contenu	Illustration
0 - Phase stratégique	Esquisse de l'architecte	Proposition de géométrie pour le fût et la tête de pile (le tablier, etc.) Spécifications principales	/
1 - Phase de Faisabilité, APS	Bureau d'Études Structure	Implantation de la chaussée (axe rouge composé d'un profil en long, d'une vue en plan, de coupes avec devers) Nombre d'appuis Géométrie du tablier permettant de connaître la sous-face du tablier Connaissance de la hauteur des appuis : définition de l'altitude Z_h du haut de la tête de pile Définition de la hauteur de la pile (De Z_h au TN) et de l'inclinaison de la pile (par rapport à l'axe rouge) Définition de la semelle et des fondations (en fonction de la géologie), donc Altitude Z_0 du bas de la pile Définition du béton, de l'enrobage des aciers, du ratio de ferrailage Proposition de géométrie définitive de la pile (pieux, semelles, fût, tête de pile, appuis) : Coffrage structure	
2 - Phase de Conception, APD	Bureau des méthodes	Méthodes de réalisation : <ul style="list-style-type: none"> de la tête de pile (nb de levées) du fût (première levée de hauteur variable puis levées suivantes constantes) Organisation des méthodes constructives (planning et enchainements de réalisation) Définition des équipements de tête de pile (en fonction du type d'appui) Proposition de géométrie définitive de la pile (altitudes des levées, position des tiges) : Coffrage Méthodes	

C – Structuration et circulation des informations

C4 – Processus de validation (suite)

Exemple de diagramme de maturité (suite)

Phase	Rôle	Contenu	Illustration
3 - simultanée à la Phase 2	Bureau d'Études Structure	Plans de : <ul style="list-style-type: none"> ferrailage : géométrie des aciers + section(s) des armatures précontrainte : géométrie des câbles + quantité de précontrainte 	 <p>Figure C4-7 : Pile de Pont / Phase 3</p>
4 - Conception détaillée - Exécution	Bureau d'Études Structure	Plans d'exécution	 <p>Figure C4-8 : Pile de Pont / Phase 4</p>

C5 – Pertinence de l'information

Fiabilité de l'information

La question est de savoir comment :

- Accorder notre confiance à une donnée ?
- S'assurer de sa bonne qualité et de sa fiabilité ?

Un jeu d'information pour s'assurer de la qualité de la donnée

La réponse repose sur un jeu d'informations parfaitement connues qui certifie que la donnée peut être utilisée sans risque.

Si	Alors
Les premières valeurs sont connues <u>et</u> les valeurs de conformité sont affirmatives.	La donnée est fiable <u>et</u> la qualité est respectée.

Les informations de conformité peuvent être **automatiquement vérifiées** par des outils automatiques de vérification (*model checker*), sous réserve de savoir les exprimer en critères mesurables ou quantifiables.

Ces informations peuvent être de 4 types :

Éléments	Caractéristiques
Identification	Du responsable . Du créateur . De sa date de création ou de sa mise à jour .
Cohérence	Connaissance de la fiabilité des hypothèses utilisées, en définissant les liens vers les informations parentes. Cohérence avec le reste des données, et en particulier avec son environnement proche et ses interfaces , en définissant les liens vers les détections de <i>clashes</i> relatifs à la donnée.
Conformité	Avec les règlements utilisés, avec un lien vers les règlements utilisés et vers le résultat du contrôle réglementaire. Avec le protocole de modélisation du projet, avec un <i>model checker</i> sachant contrôler l'application du protocole de modélisation (ex. : Logiciel Solibri). Avec les spécificités du projet (règles ou indications contractuelles spécifiques), en définissant des critères mesurables avec un <i>model checker</i> . Avec les exigences et les besoins du donneur d'ordre, en définissant des critères mesurables avec un <i>model checker</i> .
Intégrité	De la donnée (non dégradation volontaire ou involontaire).

Niveaux de maturité et degrés de développement

Chaque phase du cycle de vie du projet s'appuie sur des **données d'entrée** et produit des **données de sorties**. La qualité des données attendues est donc décrite et évaluable.

Conformité données sortantes / données attendues

Les données sortantes doivent être comparées aux données livrables attendues (respect des besoins du client, respect du niveau de détail prévu, cohérence des données entre elles, qualité de la MN 3D et des attributs renseignés, etc.). L'adéquation entre les deux permet de passer à la phase suivante.

Revue de phase et niveau de maturité

Il est donc absolument nécessaire de définir avec précision la **fin de chacune des phases principales** de la conception d'un projet. Comme on l'a vu précédemment, on appelle cette fin de phase revue de phase ou *Review Gate*.

Chaque revue de phase représente un niveau de maturité de la conception du projet. Après chaque revue de phase, le niveau de **développement** (voir ce concept ci-dessous) est approfondi, et chaque concepteur ajoute des **données** de plus en plus **précises**.

Grâce à ce **travail progressif et itératif**, les partenaires ne perdent pas de temps pendant les phases préliminaires où de nombreuses données ne sont pas encore approuvées par tous les acteurs.

De plus, le niveau de détail attendu pour chaque phase doit être scrupuleusement **respecté et non outrepassé**. En effet, la définition trop précise d'un objet dans une phase de réflexion préliminaire risque de fausser certaines analyses globales et synthétiques.

Les degrés de développement

Les degrés de développement (ou degré de détail) donnent une définition générique du contenu de la MN. Par exemple, ils peuvent être décrits de la manière suivante ¹⁰ :

Classification	Caractéristiques
NDD100	Fonctions du projet, enveloppes des tracés, volumes et localisation des ouvrages, durée globale.
NDD200	Quantités et estimations de coût approximatives, variantes envisagées, choix des techniques de construction, durée de réalisation des ouvrages.
NDD300	Éléments nécessaires pour la réalisation des plans d'exécution et des simulations, pour les appels d'offre, comprenant détails des délais de réalisation.
NDD400	Éléments nécessaires pour la fabrication, pour les commandes de fournitures, comprenant les moyens de production et les méthodes de fabrication.
NDD500	Éléments réalisés sur le chantier, comprenant toutes les informations non géométriques nécessaires à l'exploitation.

¹⁰ tirée de la Classification du AIA BIM Protocol E202

Gestion des modifications

La traçabilité des modifications

Pendant les phases du cycle de vie d'un projet, il est indispensable de gérer les modifications des objets, aussi bien en phase de **conception**, qu'en phase **d'exécution** ou **d'exploitation**.

Les objets ou les informations du projet font l'objet de modifications successives pour :

- pallier une erreur ou une incohérence ;
- apporter une information à l'objet, afin de le détailler ou le compléter ;
- apporter une correction suite à la modification d'un plan parent ou d'une hypothèse de travail.

Ces modifications doivent suivies et gérées (tracées), afin d'y faire **référence**, de les **retrouver** facilement, et ce même après l'apparition et la mise en place de versions plus récentes.

Un numéro de version en interne

Tant que la donnée n'est pas partagée, elle porte un numéro de version (ou **indice**) interne et libre. Il est utilisé en interne au sein du bureau d'étude qui en a la charge et la responsabilité.

Un autre numéro de version en externe

Dès que la donnée est validée en interne (donnée considérée comme stable et répondant aux spécifications), elle est donc partagée avec les autres intervenants.

Elle porte alors un **numéro de version officiel externe**, conforme aux règles de nommage des éléments du projet. Ce numéro permet à tous les intervenants de faire référence à la même information à jour.

En cas d'incohérence avec d'autres éléments, en cas de demande de modification pour corriger ou compléter la donnée, l'objet doit être modifié et son numéro de version doit être **incrémenté**.

Une double numérotation de version

Cette double numérotation (interne et externe) permet de séparer les 2 cycles de vie imbriqués des informations et de distinguer les aspects :

- **élaboration** : numérotation libre ;
- **partage** : numérotation conforme aux règles de la MN.

Gestion des variantes

Des variantes pour optimiser le projet

La gestion des variantes est un processus **différent** de celui de la gestion des versions que nous venons de voir.

Elle est liée à la :

- **recherche de solutions** pour répondre à un nouveau besoin exprimé ;
- **étude d'alternatives** pour optimiser une solution ou un mode opératoire de réalisation.

Un système de gestion de variantes (ou *système de gestion de configuration* dans l'industrie) permet **l'existence simultanée de plusieurs variantes** d'un même projet en cours de développement (conception, exécution ou exploitation).

Différentes branches permettent d'introduire des modifications, de faire des simulations, d'en comparer les résultats et d'en fusionner les changements.

Des variantes pour prendre des décisions

L'un des grands enjeux de la MN est celui-ci : **trouver efficacement les meilleures solutions** à partir des informations disponibles.

La mise en commun d'informations cohérentes permet d'optimiser le design plus tôt (grâce à la disponibilité des informations générées par l'ensemble des partenaires) et de multiplier les variantes étudiées.

Chaque variante doit être considérée comme un **projet à part entière**, basé sur des hypothèses validées. Par exemple, elle permet de faire :

- des **simulations**,
- des estimations de **quantités**,
- des estimations de **coûts**,
- des analyses de **planning**,
- d'explorer des **méthodes** constructives,
- de proposer des **options** de phasage ou des modes opératoires.

Ces variantes doivent donc être parfaitement gérées, en termes de :

- droit d'accès,
- identification (numérotation ou nommage),
- documentation,
- versions.

Lorsque la solution optimale est choisie et approuvée, elle devient la **solution de référence** qui permet à tous les autres acteurs de bâtir leur propre design.

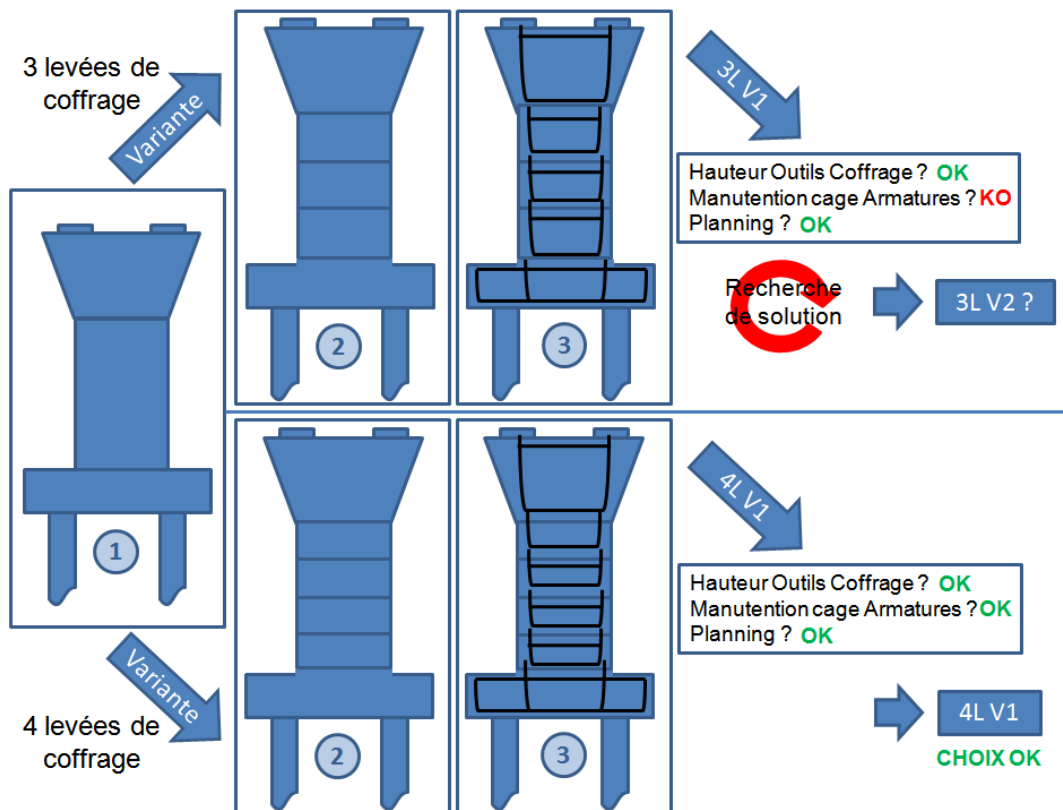


Figure C5-1 : Gestion des variantes

Des outils d'affichage complémentaires

La gestion des variantes doit être complétée par des outils avec des fonctionnalités qui permettent de :

- **visualiser** successivement les différentes variantes d'un même objet ou d'une collection d'objets,
- **combiner** plusieurs variantes pour constituer un assemblage,
- **comparer** les variantes entre-elles.

Traçabilité des décisions

Une des plus grandes attentes de l'utilisation d'une MN partagée est la **traçabilité** des décisions prises. Cela est primordial pour établir la confiance entre les partenaires. Il permet de **comprendre l'évolution** de la conception et de **responsabiliser** les intervenants. On sait qui a pris telle décision, pourquoi et en accord avec qui ou quoi.

Bien sûr, chaque décision doit être prise en conformité avec les engagements et besoins exprimés par le maître d'ouvrage.

Information associées

Les informations suivantes doivent être associées à toute décision :

- **Qui** - décideur.
- **Quoi** - quelle décision prise.
- **À partir de quoi** - références qui ont permis de prendre la décision.
- **Pourquoi** - explication du choix.
- **Quand** - date de la décision.

Limite

Attention, la gestion des décisions peut être un processus fastidieux. Il peut **brider la créativité** et **entraver l'initiative**. Il faut donc limiter le système de traçabilité aux décisions importantes ou aux décisions qui exigent une action dans un délai donné.

Gestion des plans 2D associés à la maquette 3D

Il est nécessaire de conserver la gestion des plans 2D, même dans un environnement de MN partagée, a priori principalement composée d'objets 3D.

De nos jours et à moyen terme, les plans 2D, générés automatiquement à partir des modèles en 3D, restent **l'outil de travail principal** des compagnons sur le site même du chantier.

De plus, ils constituent encore longtemps la **base** des documents contractuels exigés par les donneurs d'ordre.

La gestion des plans n'a donc pas été oubliée dans notre description du modèle global. Les spécificités de ce processus particulier sont détaillées en Annexe 2.

Propriété intellectuelle et protection du savoir-faire

Les données et informations d'un projet doivent être classées en plusieurs catégories, en fonction de leur **degré de confidentialité**. Ainsi, chaque acteur peut conserver sa propriété intellectuelle et assurer la protection de son savoir-faire.

Données privées et données publiques

Il nous faut tout d'abord distinguer les :

- **données privées** : propres à un métier,
- **données publiques** : communes au projet et à tous les métiers.

Données privées confidentielles ou partageables

De plus, les données privées peuvent être de 2 sortes :

- **Confidentielles**. Elles concernent le savoir-faire d'un métier ou d'une société. Ex. : coûts de production, résultats intermédiaires de calcul, données à forte valeur ajoutée ou données confidentielles (comme des contrats).
- **Partageables** (non confidentielles). Elles sont pertinentes pour au moins un autre métier et doivent être partagées.

Les données privées et confidentielles sont gérées en interne par chaque intervenant. Elles n'entrent pas dans le cadre du projet COMMUNIC.

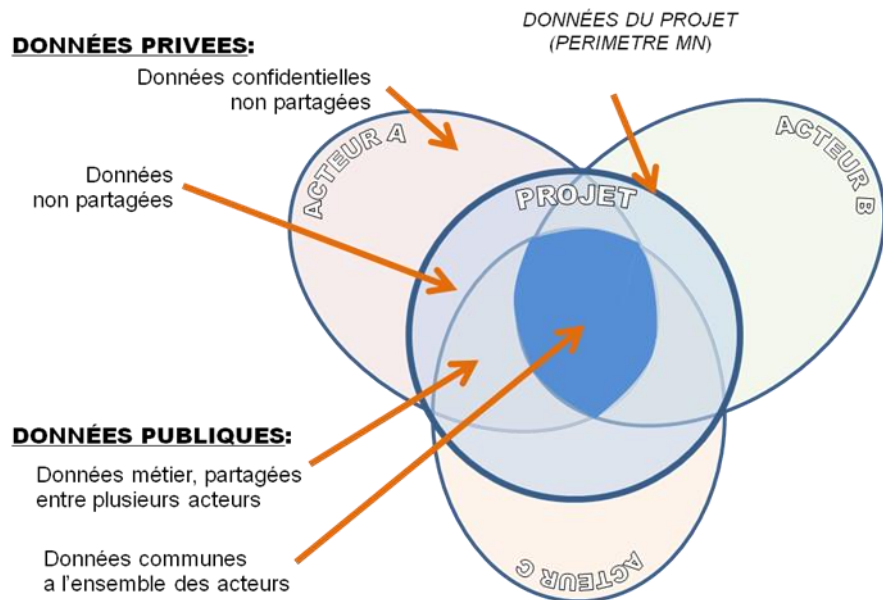


Figure C5-2 : Données privées – données publiques

Page laissée blanche intentionnellement

D – Adaptation des organisations pour mettre en place une MN

Introduction.....	92
La MN pour travailler ensemble, plus efficacement.....	92
Adaptations des organisations	92
D1 – Management de projet	93
Introduction à l'ingénierie concourante (IC)	93
Généralisation de l'IC	93
Des équipes distribuées autour d'un plateau virtuel	94
L'aide de la MN à la gestion de projet.....	94
Revue de projet	95
Nouveaux rôles dans le projet.....	95
Une organisation du projet flexible et pragmatique.....	96
D2 – Autorisations externes.....	97
Autorisations internes : non traitées	97
Autorisations externes.....	97
Apports de la MN pour les autorisations externes.....	98
Perspectives d'évolutions	98
Préalables	99
Se limiter dans la demande de variantes	100
D3 – Conception	101
Un nouveau contexte	101
Redéfinition du séquençage des missions	102
Virtualisation des échanges	103
Mise en commun des outils et des compétences	104
En conclusion	104
D4 – La construction	105
Enjeux	105
Le chantier dans les différents schémas contractuels.....	105
Intérêt de la MN pour le constructeur	106
Comment conduire le changement.....	108
Le constructeur sous-traitant.....	108
La MN et les plans d'exécution	109
D5 – Exploitation.....	110
Simplifier la MN pour l'exploitation.....	110
La MN, outil de gestion de l'ouvrage	110
Se prémunir contre l'obsolescence informatique de la MN	111

Introduction

La MN pour travailler ensemble, plus efficacement

Le modèle global modifie les relations entre les acteurs pour un travail collaboratif

La MN a un **impact** direct sur la **productivité** de chacun des acteurs et des organisations qu'ils mettent en place.

La MN est associée à l'adoption d'un **nouveau modèle global** pour conduire les projets. Ce modèle est nécessaire au bon fonctionnement de la MN.

Il est basé sur la volonté de chaque acteur de travailler avec les autres acteurs à **l'optimisation** globale du projet. Lorsqu'un projet se déroule bien, chaque acteur en partage les **bénéfices**.

Le partage des informations dans une MN commune conduit, par la pratique, à partager de plus en plus les objectifs des projets. Il permet donc un véritable **travail collaboratif** pour les réaliser.

Ce changement a un côté **technologique et méthodologique**, et un côté **culturel** forcément plus lent.

Il faut donc « donner du temps au temps » pour que les adaptations décrites ci-après modifient les organisations en place.

Adaptations des organisations

Le tableau ci-dessous présente l'organisation du chapitre D.

Module	Titre	Contenu
D1	Management de projet	Le management de projet doit être adapté au travail en IC et à l'usage de la MN.
D2	Autorisations externes	L'usage de la MN modifie la façon de présenter le projet aux acteurs externes. Ils doivent le valider, donner les autorisations nécessaires ou l'approuver.
D3	Conception	L'organisation des études et les méthodes utilisées changent. Cela est dû aux nouveaux schémas contractuels favorisant l'IC et les apports de la MN.
D4	Construction	Les constructeurs doivent s'organiser pour intervenir plus tôt dans la conception du projet en IC. De même, la MN conduit les constructeurs à mieux préparer le chantier et à l'organiser différemment.
D5	Exploitation	La MN et de l'IC impacte l'organisation de l'exploitation, y compris son intervention dans la conception.

D1 – Management de projet

Introduction à l'ingénierie concurrente (IC)

L'ingénierie concurrente, IC, est une nouvelle logique de conduite de projet qui **anticipe** certaines tâches et décisions pour **retarder** au maximum celles qui engagent des ressources lourdes et stratégiques.

En partant plus en amont pour finir très vite selon une logique de « *bon du premier coup* », elle cherche à **réduire les délais** des projets.

L'IC modifie tout en profondeur...

L'IC contribue à :

- Modifier les **structures** des organisations industrielles.
- Transformer les **rôles et les relations** des acteurs traditionnels de la création de produits ou de services (marketing, recherche, ingénierie, production, etc.).
- Organiser des **interactions** et des **compromis** nouveaux.
- Fixer des **objectifs globaux et partagés**.

... favorise le travail en plateau projet...

L'IC conduit aussi à repenser l'agencement de l'espace de travail. Elle systématise l'**usage des plateaux** projets qui réunissent les acteurs internes et externes (sous-traitants, partenaires, etc.) du projet, physiquement et régulièrement dans un même espace physique ou virtuel.

... pour un co-développement ...

Enfin, l'IC a permis de développer de nouvelles formes de relations avec les partenaires. Elle s'appuie sur leurs capacités d'ingénierie et les associe **dès l'amont du projet** (co-développement).

... et finalement un changement profond de la relation entre acteurs

L'IC implique donc les phases de conception, construction, exploitation-maintenance dès l'amont du projet. En génie civil, cela fait remonter l'**intervention en amont** des acteurs de l'aval. Le management de projet doit donc gérer la participation de certains acteurs à des phases auxquelles ils n'avaient **pas l'habitude de participer**.

C'est aussi la nature et l'organisation de l'activité qui s'en trouvent modifiées.

Généralisation de l'IC

Les anciens systèmes d'informations géraient les transmissions de données d'un concepteur à l'autre. À présent, la MN repose sur le **partage en temps réel** des informations par le biais de l'accès simultané au même objet dans un environnement en cours d'évolution.

La MN favorise l'IC...

Le management de projet est profondément modifié par l'usage de la MN, notamment parce que celle-ci introduit la généralisation et la systématisation de l'IC.

... et réciproquement...

La MN permet une organisation et une conception concurrente. Réciproquement, l'usage de l'**IC nécessite une MN**. L'organisation doit donc évoluer dès l'introduction de l'outil.

... ce qui est confirmé par les industriels visités

Pour les industries manufacturières, la MN a contribué à renforcer la **coopération** entre métiers recherchée par la **concourance**¹¹ ; dès la fin des années 1980.

Les visites que nous avons effectuées dans l'industrie aéronautique et navale ont montré que le développement de l'IC coïncide avec le développement de la MN.

¹¹ La maîtrise des organisations, la définition du rôle de chacun tiennent à la constitution de structures de concourances.

Des équipes distribuées autour d'un plateau virtuel

Élargissant le concept d'IC, le plateau virtuel ou plateforme collaborative permet de **coopérer** et de se **synchroniser** à distance, autour de l'outil unique MN, par le biais d'un portail Internet.

La plateforme collaborative permet la co-conception...

Le travail en plateau virtuel permet une véritable « co-conception » puisque que les acteurs **travaillent conjointement** sur le projet. Il s'oppose à une « conception distribuée », forme faible de la coopération où les acteurs travaillent simultanément mais non conjointement.

... synchrone ou asynchrone

La MN donne la possibilité de travailler de manière synchrone ou asynchrone, en **plateau réel** ou à **distance**.

Les plateaux physiques restent nécessaires

Les phases en plateaux physiques et les besoins de communication directe restent nécessaires, notamment en début de projet. Le plateau physique permet aux personnes de **se connaître**. Cela est ensuite utile dans les phases où les équipes sont réparties géographiquement.

Coopération

La coopération en plateau virtuel peut se dérouler selon le processus suivant :

Acteur	Action
Chef de projet	Il dispose d'une vision globale et continue de l'ensemble du projet. Il donne des droits d'accès à la MN, pour chaque partenaire autorisé.
Concepteur	En fonction de l'encombrement disponible et en s'appuyant sur la géométrie accessible, il modélise le sous-ensemble qui lui est alloué. Il dispose à tout moment du travail effectué et actualisé dans les domaines le concernant. Grâce aux outils d'analyse, il peut simuler des comportements.
Concepteur et/ou gestionnaire de MN	Ils « publient » le résultat de sa conception au sein de la MN globale.
Directeur de projet et gestionnaire de MN	Ils réalisent les tests de qualité et de cohérence, en utilisant la MN.

L'aide de la MN à la gestion de projet

La MN doit apporter une aide à la **gestion** de projet pour :

- **délais,**
- **coûts,**
- **documents,**
- **risques.**

Des acteurs mieux informés

En effet la MN donne la possibilité aux différents acteurs de :

- **partager** les mêmes informations et objectifs,
- bénéficier d'un **planning actualisé,**
- identifier le **rôle** de chacun,
- **se positionner** de façon précise dans la maquette et dans le déroulement du projet.

Des informations mieux fournies

Le rôle du gestionnaire de projet est facilité par :

- son accès direct aux informations,
- **la motivation des acteurs** à fournir les informations qui lui sont utiles.

Reuves de projet

De nouveaux jalons, numériques

La MN s'est calée sur l'organisation concurrente et l'a enrichie. Voyons cela avec deux exemples.

Dans le projet, des nouveaux **jalons** vont émerger : les jalons **numériques**. Dans les industries, ils sont déjà apparus sur les projets qui utilisent la maquette. Par exemple, Renault a utilisé dès le début des années 2000, les *Digital Mock-up Design Review* (DMDR ou revues de maquettage numérique).

La MN renforce l'importance des revues de projet

Les revues de projet doivent être **plus rapprochées** qu'actuellement.

Au-delà du partage de l'avancement du projet, elles sont **l'instance de règlement des clashes**. Le principe même de partage des informations et le nouveau processus de validation est nativement générateur de *clashes*. Il faut des revues **régulières** pour les résoudre.

Nouveaux rôles dans le projet

Un nouveau métier, gestionnaire de MN, pour assister le chef de projet

Le rôle de chef de projet en génie civil implique déjà les qualités d'animation d'une large équipe multi-métiers et répartie sur plusieurs sites.

Avec la MN, les interdépendances entre objets prennent une importance plus grande. Il faut que le chef de projet s'entoure d'un rôle nouveau, celui de gestionnaire de MN, pour régler les problèmes :

- d'attributions de **droits**,
- de paramétrages des **logiciels**,
- de *clashes* **d'accès** en lecture en écriture,
- d'animation des **revues** de projet,
- de **paramétrages** de la MN.

La phase de préparation en plateau peut être assez longue

Ce rôle est particulièrement stratégique en début de projet, lors de la **phase de préparation en plateau projet** de la MN : paramétrage des logiciels, choix des référentiels et vérifications des interopérabilités.

Cette phase peut **être assez longue**. Dans un cas industriel, vu lors de visite du *benchmark*, elle a duré un an.

L'importance de la coordination de zones ou de systèmes

Nos benchmarks nous ont montré que le projet doit souvent être **découpé en zones** (ex. chez Airbus : le *Digital Mock-up Integrator*). De même, des **systèmes** sont transversaux à ces zones.

Des fonctions de **coordination** de zones ou de systèmes sont donc nécessaires.

Les projets d'infrastructures actuels comportent déjà ces fonctions de coordinations. Indépendamment, l'IC et la MN vont en renforcer l'importance.

Organisation	Type de coordination
Séquentielle	Hiérarchie métier
Concourante sans MN	Projet (<i>Heavy Weight Project Managers</i>)
Concourante avec MN	Projet <u>et</u> intégration de maquette

Ces fonctions constituent un niveau de **coordination supplémentaire** dans les projets par rapport à la coordination métiers / projet.

La MN vient ajouter au découpage fonctionnel une **vision spatiale** du projet. En effet, elle alloue aux concepteurs des espaces comme une forme géométrique virtuelle en 3D représentant le volume contraignant de la conception.

Chez Airbus ou chez Gehry Partners, les projets sont à leurs débuts de grands volumes d'allocation d'espace (*Space Allocation Mock-up*). À l'intérieur de chaque volume, des métiers interagissent.

Une organisation du projet flexible et pragmatique

Le recours à la MN ne doit pas contraindre le management à une organisation unique supposée performante. Il doit **adapter les formes d'organisations** aux types de projets à gérer.

Autrement dit, l'organisation change selon les projets. La MN est adaptable à l'organisation sans modifier les fonctionnalités attendues.

D2 – Autorisations externes

Autorisations internes : non traitées

La conduite des projets d'infrastructures nécessite plusieurs natures d'autorisations. Certaines autorisations sont internes aux acteurs directs du projet. Par exemple, celles :

- Du **maître d'ouvrage** : validation de la conception, changement de phase, réception de l'ouvrage.
- Des **concepteurs** : réception des prestations sous-traitées, visa des documents d'exécution, conformité des travaux au projet.
- Des **constructeurs** : réception des travaux sous-traités, contrôles qualité.
- De l'**exploitant** : réception de l'ouvrage, dossier d'exploitation.

Ces autorisations ne sont pas traitées ici. Elles entrent dans le processus de validation vu par ailleurs.

Autorisations externes

D'autres autorisations, que nous appellerons donc autorisations externes, sont à obtenir auprès des **acteurs externes**.

Nombreuses et variées

Elles sont nombreuses et variées, comme le montrent les exemples ci-dessous

Entité délivrant l'autorisation	Type d'autorisation
Administrations(s)	Conformité aux cahiers des charges, respect des lois et règlements, lois sur l'eau, l'air
Concédant	Respect du cahier des charges.
Financeurs	Maîtrise des risques, justification des prêts.
Collectivités territoriales	Tracé, intégration dans le territoire, impacts divers.
Autres maîtres d'ouvrages	Impacts sur les autres ouvrages qu'ils possèdent et/ou qu'ils exploitent.
Riverains et associations	Impacts du projet et mesures correctrices.

Des supports variés pour les justifier

À part les administrations, les acteurs concernés ne sont pas spécialistes des domaines techniques des infrastructures.

Les moyens actuels pour obtenir les autorisations sont basés sur des :

- **dossiers** contenant des documents qu'ils approuvent ;
- **présentations** qui s'appuient sur des plans, des photos montages, des films virtuels, des maquettes physiques ou virtuelles ;
- **réunions** explicatives.

Des supports papier pour enregistrer les autorisations

Les documents papier matérialisent la portée et le contenu des approbations ou autorisations. Ils permettent de les enregistrer et de les gérer.

Apports de la MN pour les autorisations externes

Une aide à l'élaboration des documents

La MN facilite les autorisations externes sous deux aspects, élaboration des documents, pédagogie, sans nécessité de changement sur le processus d'autorisation lui-même.

La MN établit automatiquement des **documents adaptés** à chaque interlocuteur. En effet, la structuration du projet et le modèle de données permet :

- le **tri** des informations,
- leur **extraction** de toutes les autres informations qui peuvent les polluer.

Un outil exceptionnel pour expliquer et faire comprendre

La MN est structurée et permet de **rassurer** sur la rigueur de conduite du projet. Sa représentation visuelle et 3D **facilite la compréhension** du projet.

L'association des informations aux objets physiques que l'interlocuteur voit et comprend, **répond** de manière de plus en plus détaillée à ses interrogations.

La MN constitue donc un outil exceptionnel pour expliquer et faire comprendre.

Sans changer les processus actuels

Les processus d'autorisation ne doivent pas être modifiés, même si des précautions sont prises pour s'assurer de la bonne compréhension de ce qui est montré.

Perspectives d'évolutions

La dématérialisation

Les apports de la MN sont immédiats et ne nécessitent pas de grands changements à court terme. En revanche, des évolutions technologiques et culturelles modifient et continueront de **modifier les relations** entre acteurs qu'ils soient directs, indirects ou influents.

Depuis une dizaine d'années, il y a une évolution vers la dématérialisation des échanges. Elle est par exemple effective dans les **consultations** des entreprises et en **cours de tests** pour les **actes notariés**.

L'article 56 du **code des marchés publics** définit les conditions de cette dématérialisation.

En prolongement de la dématérialisation par échange de fichiers, il est probable que d'ici quelques années, les échanges d'informations se feront par échange de MN. Il faut donc se préparer au passage d'échanges de documents papier ou fichiers à des échanges de MN.

Les nouvelles technologies de communications

Les nouvelles technologies telles qu'**Internet** ont déjà largement modifié les moyens de communication avec les acteurs influents.

Pour les enquêtes publiques, un **site** est souvent mis à disposition des riverains. Ils peuvent ainsi **consulter** les documents qui expliquent le projet. Ils peuvent faire leurs **observations** et le maître d'ouvrage y répond.

Il est probable que la MN ou plus exactement une **extraction publique** de celle-ci sera accessible. Les citoyens peuvent ainsi avoir accès aux informations complètes par navigation en temps réel dans la MN.

La culture du partage : le Web.2, les réseaux

Le développement du Web.2 et des réseaux conduit peut-être aussi à associer les **riverains**, les **citoyens** et même les **futurs usagers** à l'élaboration même du projet.

Cela permet un **enrichissement** de la **conception** et de la **construction**. Cependant l'impact sur les processus de conduite du projet est considérable et le projet COMMUNIC n'a pas eu cette ambition. COMMUNIC s'est limité au **travail collaboratif** entre les acteurs directs, ce qui est un changement déjà très important.

Préalables

Voyons ci-dessous quelques préalables à l'utilisation de la MN pour le processus des autorisations externes.

L'interopérabilité

Pour que les technologies modernes et futures de communication puissent utiliser la MN, il faut qu'ils soient interopérables avec elle. Il faut donc que les **formats d'échange** et les **modèles** de données soient **standardisés**, voire **normalisés**.

L'intégrité

Il faut également garantir l'intégrité des informations échangées. En particulier, un acteur extérieur ne doit pas pouvoir modifier les données publiées. Aujourd'hui, le format **PDF** garantit cette intégrité pour les pièces écrites et les plans. Il faut définir un **format équivalent**, non modifiable pour les MN.

La gestion des accès

L'accès à la MN doit être géré par des règles et suivi par le gestionnaire de MN.

Le référentiel général d'interopérabilité (RGI) fixe des règles

L'Administration a déjà publié un référentiel d'interopérabilité : le référentiel général d'interopérabilité (RGI), *ordonnance n°2005-1516 du 8 décembre 2005 relative aux échanges électroniques entre les usagers et les autorités administratives et entre les autorités administratives*.

Le RGI fixe des **règles d'interopérabilité** aux autorités administratives pour leur système d'information. Il définit un périmètre de l'interopérabilité entre :

- les autorités administratives ;
- une autorité administrative et une entreprise ;
- une autorité administrative et un citoyen.

Il traite de :

Interopérabilité	Contenu
Sémantique	Conception des échanges Méthodes de spécification Ressources sémantiques
Syntaxique	Codage des données Formatage des données
Technique	Technologies de navigation Multimédia Services WEB Infrastructure Protocoles de réseau

Le RGI doit être complété par les outils et formats d'échange de la MN

Le RGI traite des outils et formats actuellement utilisés. Par exemple, le format PDF couvre un nombre significatif de situations d'échange.

Il doit être complété, comme cela est prévu dans son processus de mise à jour, par les spécificités des MN.

Se limiter dans la demande de variantes

La MN facilite l'étude de variante par la mise à disposition des informations, l'interopérabilité des outils et ses fonctions de synthèse.

Même facilitée par la MN, l'étude de variantes a un coût

Même si l'étude d'une variante est facilitée par la MN, il faut néanmoins la faire et il faut ensuite la gérer. Il y a donc un **coût direct** et un **coût indirect** de gestion et de taille de la MN.

L'IC diminue le coût des variantes

L'IC permet **d'associer plus tôt** les acteurs à la conception, à partir d'études de qualité, en détaillant les choix possibles et retenus. Cela engendre la confiance des acteurs et limite les demandes de recherche de variantes inutiles.

Le fait d'avoir pu, en **phase initiale, vérifier** différentes options, limite le risque d'avoir à le faire en phase aval. Le **coût** de l'étude de variantes est ainsi **réduit**.

Étudier plus tôt des variantes moins nombreuses

Au total, l'optimisation doit donc se faire en :

- regardant **très tôt** des variantes larges ;
- **partageant** l'analyse et l'acceptation des choix ;
- étant **ferme** ensuite pour ne pas remettre en cause ces choix partagés.

D3 – Conception

Un nouveau contexte

Les projets d'infrastructures linéaires mobilisent un **nombre croissant d'acteurs**, qui doivent s'organiser en **mode collaboratif**, tout particulièrement pendant la phase études.

La MN va conduire à associer de plus en plus d'acteurs à la conception.

Quelques exemples de cette évolution

En contrat de Partenariat Public Privé (PPP), les maîtres d'œuvres traditionnels (ingénieurs, architectes, urbanistes et paysagistes), s'associent maintenant avec les **entreprises de construction** dès la conception.

La forte adhésion des maîtres d'ouvrage au mouvement pour le développement durable entraîne l'intervention de nouveaux acteurs, **bureaux d'études techniques** pointus en nouvelles technologies « écologiques », « **managers** » de la question environnementale.

L'**exploitant** peut également intervenir désormais dès le début du projet.

Dans les PPP et concessions, **les financiers** veulent suivre la conception pour maîtriser leurs risques.

Des échanges de données plus structurés

L'intensification des échanges de données nécessite de **réinventer le mode de prise de décision**. La MN arrive à point pour centraliser les données et organiser les échanges.

La **décomposition** du projet en briques élémentaires, le « *breakdown structure* » cher aux industriels, associé à l'**encodage numérique** d'objets, permettent en effet de gérer des projets complexes, faisant appel à un nombre élevé d'intervenants.

L'IC : plus tôt et plus de collaboration

Par ses objectifs de réduction des délais et de travailler de manière plus collaborative dès le début du projet, l'IC nécessite de :

- Mener des **conceptions en parallèle** et non plus séquentielles.
- Revoir les **processus** de production et de validation des études.
- Adapter les **logiciels de conception** pour les rendre interopérables avec la MN.

La MN facilite la production multi-sites

La MN permet le développement du travail multi-sites. Cette tendance à la multiplication des sites de production résulte de :

- la réduction des délais qui obligent à mobiliser plusieurs équipes pour produire plus vite une même tâche.
- l'intervention de plus en plus d'acteurs dont le regroupement sur un même plateau ne peut économiquement pas se justifier.

L'accès à la MN par le Web est une fonctionnalité attendue qui va **faciliter** les échanges avec la MN et par là-même le partage des informations. Les fonctionnalités de gestion des informations et des usages de la MN permettent de **contrôler ces utilisations** en parallèle des données.

Trois changements profonds du processus d'étude

Quelle va être la **conséquence** sur l'organisation des études ? Comment **maîtriser** ce nouvel outil pour n'en tirer que les bénéfices ?

Les paragraphes suivants s'intéressent à trois aspects du changement :

- redéfinition du **séquençage des missions**,
- **virtualisation** des échanges,
- mise en commun des **outils et compétences**.

Ils tentent d'identifier les possibles freins au progrès.

Redéfinition du séquençage des missions

La progressivité homogène de la précision est à pondérer...

Le premier aspect du changement du processus d'étude est la redéfinition du séquençage des missions.

Jusqu'à maintenant, le déroulement des missions était basé sur une **précision croissante** du projet. Par exemple, dans le fascicule spécial n° 87-9 bis « *Construction et aménagement des autoroutes concédées* », on trouve une **définition des phases d'études**, basée sur la largeur de la « bande » impactée par le projet :

- 1 km pour l'étude préliminaire de l'APS,
- 300 m pour l'APS proprement dit.

L'avant-projet, lui, procède au calage précis du projet. Le texte précise que « *les études de toute nature [...] doivent être d'un niveau de précision homogène* ».

Or, le travail collaboratif avec la MN suppose que certains acteurs de l'aval **interviennent sur la conception amont**. Ils apportent une vision plus détaillée qui peut conduire à revoir cette conception amont. Cette homogénéité de précision par phase n'est donc pas forcément conservée.

... ce qui suppose une adaptation des textes

On connaît la célèbre **courbe en forme de cloche** qui montre comment, dans le domaine du bâtiment, le travail en MN a pour effet d'avancer dans le temps « l'effort » nécessaire au projet. Pour appliquer ce modèle aux projets d'infrastructures linéaires, il faut donc **adapter les textes** définissant les missions (CCAG, loi MOP).

Bénéficiaire de la concentration des échanges en début de projet

Le principe du travail collaboratif est de **partager** des informations en reportant leur validation aux changements de phase. Cette validation traduit le fait que l'information est **approuvée** par les acteurs.

Plus une décision de validation est retardée, plus elle est **partagée** et **mature**. Elle a donc moins de chance d'être remise en cause tardivement.

Par exemple, il est intéressant de différer la validation du choix d'une **variante de tracé**. On a envie de **tout savoir** sur les deux solutions avant d'en choisir une. Et c'est en cela que la MN, qui permet un partage des informations **dès leur dépôt**, est un atout. L'intensification des échanges en début du projet permet de regrouper des séquences de **maturation** qui s'étaient souvent jusqu'au début des travaux.

La gestion des flous est un enjeu de la MN

La gestion des flous sur une partie d'un projet est une **contrainte** obligatoire difficile à gérer. La MN est un outil pour cette gestion.

Par exemple, on décide de prévoir un dispositif de protection contre le bruit en bordure de l'infrastructure. Cette information est alors **immédiatement** mise dans la MN et prise en compte par tous les acteurs. En revanche, ce dispositif est **défini avec un flou** car on ne sait peut-être pas si ce sera un mur ou un merlon de terre. La MN associe ce flou à l'objet et les autres conceptions en tiennent compte.

Le choix sur ce flou peut être **différé** même sur une phase ultérieure s'il ne gêne pas les autres conceptions voire constructions.

Le séquençage actuel de définition avec une précision imposée et homogène peut donc **être assoupli**.

Des évaluations plus faciles, faites au fil de l'eau

Un des atouts de la MN est sans conteste la facilité d'évaluer quantitativement un projet, sur la base d'indicateurs bien choisis (volume de déblai/remblai, coût, impacts environnementaux, etc.). Pour les réaliser aujourd'hui, il est difficile et chronophage de collecter les informations.

Avec la MN, les données sont en permanence structurées et accessibles. Il n'est pas nécessaire de mobiliser spécifiquement les équipes pour ces tâches lourdes (ex. : en fin de phase d'avant projet ou pour la passation des marchés de travaux).



Des missions ne se justifient plus en IC

Dans un PPP par exemple, le travail collaboratif des concepteurs et des constructeur sur toutes les phases du projet rend inutile la mission de « **Projet** » (PRO) ou celle d' « assistance aux marchés de travaux » (AMT).

Il n'y a plus de raison pour maintenir une **étape intermédiaire** entre l'avant-projet et le projet d'exécution. Le **projet d'exécution**, aujourd'hui à la charge du constructeur peut par ailleurs être transféré au concepteur.

De nouveaux repères pour les acteurs

Ces différentes considérations montrent que les missions élémentaires des projets sont appelées à évoluer en profondeur. Les acteurs vont donc devoir trouver de nouveaux « repères ».

Virtualisation des échanges

Pour la conception d'un grand projet d'infrastructure, les acteurs (ingénieurs, architectes, paysagistes, spécialistes du tracé, nombreux projeteurs, etc.) peuvent être **physiquement rassemblés** sur un même plateau projet.

Cette organisation est adaptée à l'IC sans outil collaboratif pour :

- faciliter la coordination **multi-métiers**,
- éviter la coordination **multi-sites**.

La MN permet les échanges sans plateau virtuel ...

La MN offre la possibilité de partager des informations autour d'une **base** de données, et des **visualisations** 3D du projet en cours. Cela remet en cause l'organisation du travail.

Les performances du Web et les outils de communications permettent des **échanges rapides** de fichiers même lourds. De plus, ils permettent de travailler ensemble sur un **même document partagé** (ex. : WebEx). Les espaces collaboratifs (BuildOnLine, BSCW par exemple) sont des outils de partage performants.

Le développement de plateformes collaboratives à distance permet d'envisager dans un futur proche, une **conception** partagée **en temps réel** par croquis à main levée, entre équipes géographiquement distantes (exemple de « Studio Digital Collaboratif » dans le cadre du projet « CoCréa », PI3C, etc.).

Le travail multi-sites et l'IC peuvent donc être envisagés **avec chaque intervenant** dans son bureau, voire chez lui.

... mais le plateau physique est incontournable pour lancer la conception

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'accroissement des possibilités de partage des données numériques ne s'accompagne pas forcément d'une **communication efficace** entre membres du projet.

La motivation, l'envie de communiquer, passe d'abord par le **contact physique**, la relation entre les personnes.

Les *benchmarks* que nous avons conduits avec d'autres secteurs nous confirme qu'il est **impératif** de prévoir ces rencontres physiques en particulier pour :

Phase	Alors
Lancement du projet	Structurer le projet et la MN. Définir les règles de fonctionnement. Débattre, se connaître, se comprendre.
Certaines revues de projet ou de phase	Résoudre des <i>clashes</i> et de prendre des décisions. Se rencontrer lorsqu'il faut débattre, être sûr de bien se comprendre et ne pas laisser d'état d'âme que la distance masquerait.

Le virtuel a encore ses **limites** !

Mise en commun des outils et des compétences

Des logiciels imposés et/ou des logiciels interopérables

Le travail en MN pose également la question de la mise en commun des compétences autour d'un même objet, et par extension, de la mise en commun des moyens logiciels.

Une première configuration impose l'utilisation d'un ou plusieurs logiciels communs, à l'exclusion de tout autre. Cette solution, assez répandue, pénalise cependant les acteurs ayant une expertise spécifique, voire disposant de logiciels « maison ».

Une deuxième configuration impose l'interopérabilité et l'utilisation de normes pour l'échange de fichiers, de façon à laisser le choix des outils aux concepteurs.

Le choix de l'une ou l'autre configuration relève avant tout d'une **décision** propre au management du projet. Elle doit être **adaptée** au projet et à son contexte.

Le partage des compétences des collaborateurs doit être maîtrisé par les processus de conception

Par ailleurs, la nouvelle organisation du travail a des conséquences plus subtiles. En effet, au-delà de la mise en commun d'un **modèle numérique**, le travail collaboratif entraîne *a fortiori* la mise en commun des **compétences** d'acteurs relevant d'entités économiques et juridiques distinctes.

Hier, le déroulement des études dépendait du **défi** que se lançaient des entreprises, de leur **envie** de remporter la paternité de la conception, ou de montrer leur supériorité.

Avec la proximité que l'on peut avoir autour d'un modèle 3D commun, la **joute** se déplace dans la **sphère de l'individu**. Il est même probable que l'on assiste à une **dilution du sentiment d'appartenance** à l'entreprise employeur.

Ce partage est **riche** pour le projet et pour le collaborateur. Il faut qu'il le soit aussi pour l'entreprise. Il faut donc :

- **Contrôler et suivre** la conception faite par les collaborateurs.
- **Adapter** les circuits d'informations et les processus, pour maîtriser le partage des compétences, en particulier sur le plan juridique.

En conclusion

La MN, un véritable outil pour l'éco-conception

En favorisant :

- la prise en compte de **tous les domaines**,
- l'analyse du **cycle de vie complet**,
- les évaluations **développement durable**,
- l'adaptation des **solutions** aux **services** attendus et même aux **besoins**,

la MN est un véritable outil pour faire de l'éco-conception.

La MN au service des acteurs, de leurs expertises et de leur motivation

Dans ce module consacré à la conception, il n'est toutefois pas superflu de rappeler que la qualité de conception des projets résulte :

- d'abord de la **qualité des expertises** mobilisées par chacun des acteurs,
- ensuite de la **volonté d'optimisation du projet** partagée par les tous les acteurs.

La **MN** n'est là que pour les y **aider**.

D4 – La construction

Enjeux

90 % du coût d'un projet résulte de sa construction. C'est donc sur cette activité que le modèle global doit **se rentabiliser en premier**. L'organisation du chantier doit donc s'adapter au travail collaboratif avec la MN pour :

- **optimiser** la réalisation dès la phase de conception,
- bien **préparer** les travaux,
- **anticiper** les aléas,
- **maîtriser** les risques.

Le chantier dans les différents schémas contractuels

Le travail collaboratif avec une MN n'a pas le même impact sur l'organisation du chantier. Cela dépend dans quel schéma contractuel, le projet est conduit. En effet, le principal gain attendu par les constructeurs est de **préparer le chantier**, si possible **dès la conception**.

À cet égard, les différents schémas contractuels de conduite du projet ne sont donc pas équivalents :

Type de schéma	Caractéristiques
Traditionnel	Conception, consultation, travaux
Collaboratif	Groupement concepteurs/constructeurs (D&B, PPP ou concession privée)

Le schéma conception puis le schéma construction

Dans ce schéma, la conception, même élaborée à l'aide d'une MN, ne peut intégrer les paramètres du constructeur (matériels, équipements, répartition des équipes, plannings etc.) puisque celui-ci n'est pas encore désigné.

Cependant, à l'aide de la MN, il peut ensuite vérifier que ses outils et son phasage de travaux sont compatibles avec le projet défini au préalable. On reste ici dans un **processus séquentiel et non collaboratif** qui engendre donc des bénéfices limités.

Le constructeur peut néanmoins utiliser avec profit la MN pour :

- **coordonner** les études d'exécution avec ses sous-traitants (corps d'état techniques etc.),
- optimiser le **planning** de travaux,
- simuler des **scénarios**,
- optimiser ses **méthodes**.

Le schéma collaboratif conception et construction

Dans le schéma collaboratif, le constructeur est intégré très en amont dans le processus de conception Il participe donc pleinement au "travail collaboratif". Ce contexte est nettement plus favorable à l'utilisation d'une MN. Il est donc recherché pour en tirer pleinement partie.

Le constructeur a les mêmes avantages que dans le cas précédent, et peut de plus :

- **influencer la conception** pour optimiser la construction,
- **anticiper** l'organisation du chantier

Les schémas collaboratifs sont à privilégier

Pour tirer pleinement parti du modèle global, il convient de privilégier les schémas qui mobilisent les constructeurs le **plus tôt possible**. Cela optimise le projet et en particulier sa construction.

Intérêt de la MN pour le constructeur

La conception en objets 3D volumiques

Comme on vient de le voir, un processus de **travail collaboratif** est plus **propice** à l'optimisation du projet qu'un processus séquentiel.

La MN permet de rassembler dans une même vue 3D toutes les contributions des participants sur les objets et de les comprendre.

Le constructeur peut donc vérifier :

- la **compatibilité** du projet avec ses séquences de construction (découpage en levées de béton, arrêts de bétonnage, éléments préfabriqués, etc.) ;
- l'**optimisation** du projet par rapport à son matériel d'entreprise (étais, engins, grues mobiles, grues fixes, etc.) ;
- certaines **quantités** si la MN est dotée de fonctions :
 - de calcul de surfaces, volumes, etc.,
 - par nature, par zone, par ouvrage, par structure de prix, etc.

L'ingénieur méthodes dispose ainsi d'un nouvel outil de visualisation lui permettant d'analyser les *clashes* dans l'espace et dans le temps.

Le temps, pour une conception en 4D...

La fonction "temps" peut être intégrée dans la MN par un ensemble de clichés (*snapshots*) du projet pris à des dates différentes correspondant à chaque phase de travail :

Séquences	Exemples
principales de travaux	Terrassement, remblais, revêtements, équipements.
détaillées	Rotations de coffrage, imbrications d'éléments préfabriqués.

... permettant une visualisation du déroulement projet façon film

D'où le besoin, pour le constructeur, de relier de manière bijective chaque objet de la MN à une phase d'un planning. Ce lien peut être réalisé avec un planning :

- **classique** à barres type GANTT (MS Project, PNS, Primavera, etc.),
- **plus adapté** aux infrastructures linéaire de type « chemin de fer ».

Certains logiciels de conception intègrent cette fonction à des degrés divers (REVIT Architecture, Digital Project, etc.). D'autres sont dédiés à ce type de connexion (ex. : Synchro LDT, Navisworks).

La MN peut donc être utilisée pour réaliser un véritable "**film**" du déroulement du chantier par succession de plans fixes, voire de séquences animées. Cela permet de :

- **Visualiser** les déplacements de charges, d'équipements, de grues, de matériels divers, etc.
- **Régler les *clashes*** éventuels dans le temps et l'espace.

Une cinquième dimension, les coûts...

En plus de la maîtrise de la **géométrie** du projet (3D) et de sa réalisation dans les **délais** (4D), le constructeur est tenu de respecter le **budget** prévu (5D). Or, dans le schéma actuel, ces 3 objectifs sont gérés par des outils distincts sans "connexion" entre eux :

Outils	Contenu
Plan	Coordonnées d'informations géométriques
Planning	Durées, quantités, rendements, moyens (hommes, matériels).
Étude de prix	<p>€ (ou autre monnaie) obtenus par multiplication de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • quantités (métrés sur le plan manuellement ou par des requêtes incorporées au logiciel de DAO), • par des prix unitaires issus des bibliothèques de prix ou de tableaux annexes tenant compte des rendements, des moyens de l'entreprise, etc.

... voit son pilotage facilité par la mise en œuvre de la MN

Ces calculs représentent le savoir-faire de l'ingénieur-estimateur qui **ajuste manuellement** les 3 composantes pour les rendre compatibles entre elles. Ce travail manuel, très élaboré, ne permet pas beaucoup d'itérations successives et reste donc parfois à distance de l'optimum possible.

La MN en reliant la géométrie, la planification et une partie de l'étude de prix va, à terme, permettre de "jouer" plusieurs scénarios et donc de choisir **le plus économique**.

La structure d'une étude de prix pour un grand projet est en général assez complexe. Dans un premier temps, il faut se contenter d'utiliser la MN comme **aide à la décision** pour récupérer les métrés et vérifier dans l'espace 3D que les tâches élémentaires, matériels, équipements, etc. peuvent coexister.

Même incomplet, un tel système intégré où les 3 composantes plans-plannings-étude de prix sont désormais liées, va permettre de **comparer rapidement** plusieurs scénarios possibles et d'en évaluer les **coûts respectifs**.

Un simulateur pour anticiper les aléas et maîtriser les risques

Les logiciels MN disposent de fonctions ou modules permettant de simuler le fonctionnement de tel ou tel corps d'état technique (électricité, éclairage, acoustique, fluides, hydraulique, etc.). Ils transforment la MN en véritable **simulateur** du projet réel.

Cela induit deux bénéfiques majeurs :

- pendant la phase d'exécution des travaux, les conséquences d'un incident sur le programme et les délais sont évaluées avec rapidité et fiabilité grâce au simulateur ;
- les bénéfices pour le projet se trouvent démultipliés lorsque le constructeur fédère ses sous-traitants et équipementiers autour de la MN dès la phase de conception.

Comment conduire le changement

On comprend par les perspectives décrites ci-dessus que la mise en œuvre de la MN oblige le constructeur, et les ingénieries associées, à **changer profondément l'organisation**. Il convient de mener **méthodiquement** ce changement pour ne pas risquer l'échec ou le rejet.

Mobiliser le management de l'entreprise

Comme toute modification majeure d'organisation, l'implantation de la MN doit être portée par la Direction Générale de l'entreprise et soutenue par les chefs de projet concernés.

Le bien-fondé de la démarche est expliqué à chaque responsable comme le sont les actions de certification Qualité ou celles liées au Développement Durable.

Deux scénarios de mise en œuvre

La mise en œuvre sur un projet réel peut s'envisager selon deux scénarios :

Scénario	Avantages	Inconvénients
Projet de grande taille	Les dépenses d'équipement (matériel et logiciels) sont faibles par rapport à la valeur du projet. La période de préparation est plus longue. Les gains liés à l'utilisation de la MN sont d'un montant significatif.	En cas de non-maîtrise de l'outil MN, les conséquences sur les délais et les coûts peuvent être importantes.
Projet de petite taille	Le nombre de personnes à former, à équiper est réduit. Un petit projet peut être aussi démonstratif qu'un grand pour revisiter les processus métier actuels et pour mettre en évidence les améliorations dans les étapes de la conception.	La MN est vue comme un outil de représentation 3D plutôt que comme une plateforme de travail collaboratif. Les gains obtenus peuvent être jugés trop modestes par rapport à l'effort d'équipement et de formation. Le montant des études peut être jugé anormalement élevé par rapport aux ratios habituels.

Remarque importante

Quelle que soit la taille du projet, l'adoption de la MN engendre un accroissement du **coût des études**. Ce surcoût est **compensé** par un **gain global** venant d'une meilleure conception et intégration du projet. Il est donc vivement conseillé d'ajuster le budget études en conséquence et de l'annoncer clairement.

Le constructeur sous-traitant

Par nature le travail collaboratif réalisé autour de la MN suppose que les intervenants soient désignés et mobilisés le plus en amont possible.

Les acteurs indirects sont intégrés progressivement...

Cela suppose également que les acteurs indirects (sous-traitants et équipementiers) sachent communiquer et "nourrir" la MN avec leurs données techniques.

Or, ils vont **s'équiper et se former graduellement** en fonction des projets traités et de leurs capacités d'investissement. Et leurs études sont en partie réalisées et représentées sur d'autres logiciels que ceux rendus, en premier, interopérables avec la MN.

... avec le constructeur, acteur direct, comme intermédiaire pour la transition

Pour résoudre ce problème, on peut adapter les solutions utilisées en construction navale par exemple où l'entreprise principale – le constructeur – **transcrit** les données de ses sous-traitants pour les **rendre compatibles** avec les standards de la MN.

Cette tâche est réalisée par un "**intégrateur**" capable d'analyser les *clashes* et de répercuter les informations aux sous-traitants concernés.

La MN et les plans d'exécution

Les documents d'exécution restent produits à l'aide de la MN...

Certains acteurs craignent que la MN fasse disparaître les plans 2D qui sont utilisés sur chantier.

Les documents d'exécution suivants **continuent d'être produits** sous leur forme habituelle pendant une durée significative :

- plans d'exécution (ou réalisation). Ex : terrassements, coffrages ;
- plans de phasage ;
- plans de méthodes détaillés ;
- plans par corps d'état techniques ;
- notes techniques.

Les conditions d'emploi (à l'extérieur, aux intempéries, aux chocs, etc.) et les habitudes de travail l'imposent. Toutefois, leur production est facilitée par la MN.

Les logiciels de modélisation actuels sont capables de réaliser des coupes de la structure étudiée suivant un plan quelconque. Les coupes sont ensuite habillées avec les cotes, commentaires, détails, références,... pour constituer les plans d'exécution.

... et sont complétés par la consultation sur les dispositifs modernes...

Les dispositifs modernes (smartphones, tablettes, IPAD, e-books, etc.) prendront inéluctablement une part croissante dans la consultation, sur le terrain, des documents. La MN sera consultable sur chantier à partir d'ordinateurs portables adaptés. Le « zéro plan » est sans doute **accessible**.

... et des outils de positionnement automatique des engins sur chantier

De plus, le développement des GPS, radars, stations totales permet de se **positionner automatiquement** sur le terrain. Des systèmes de guidage automatique des engins de chantier sont donc apparus sur les chantiers.

Ces **guidages** seront **connectés à la MN** et de nombreux travaux se feront sans plan. Simplement, un opérateur vérifiera sur son portable que la réalité que l'engin façonné est conforme à l'objet virtuel de la MN.

D5 – Exploitation

Comme on l'a vu pour les parties conception et construction, la MN n'est pas le conteneur d'une information figée. Il en va de même au cours de l'**exploitation** de l'ouvrage jusqu'à son **démantèlement** éventuel.

Simplifier la MN pour l'exploitation

Des informations trop riches pour l'exploitation, mais à archiver juridiquement

L'information générée par un projet de conception, puis de construction, est riche.

Elle est même **trop riche pour être exploitable** nativement sur la durée de l'exploitation d'un ouvrage. En effet, la gestion qualitative d'un projet implique la préservation d'informations utiles pour le projet et la gestion de la connaissance. Mais, elles ne sont utiles qu'à l'**archivage juridique** et non à l'exploitation de l'ouvrage.

Par exemple, la gestion des informations du projet implique la **préservation** des versions et variantes successives sur l'ensemble du projet ainsi que les courriers échangés, arbitrages, validations, etc. La **vie du projet**, tant en conception qu'en construction, somme toute !

Or, cette information n'est utile qu'à **titre de recours** ou **autre requête** nécessitant d'accéder à une donnée propre au management de la conception ou à la vie du chantier.

Nettoyer la MN ...

Il est donc nécessaire de nettoyer cette MN. Il s'agit de livrer à l'exploitant une MN ayant « subi » *a minima* une suppression des :

- Informations relatives au management des **workflows** (versions, variantes, validations), ne garder que la version réalisée et réceptionnée des ouvrages.
- **Objets temporaires** (matériels de chantier ayant servis à la modélisation des méthodes de production par exemple ou encore les phasages transitoires de terrassement).
- Informations relatives au **cahier des charges initial** de la commande.

... pour ne garder que la réalité livrée

En bref, ne garder que les objets, propriétés et documents relatifs à l'ouvrage tel que construit afin de pouvoir partir d'une **MN reproduisant virtuellement la réalité livrée**.

La MN, outil de gestion de l'ouvrage

Ainsi, il est possible d'utiliser la MN comme **interface** pour :

- **accéder** aux informations réelles mesurées sur place,
- dynamiquement **contrôler** le comportement de l'ouvrage.

La MN comme source et dépositaire des informations

Plus explicitement, cela signifie que la MN devient :

- la **source** de toute information sur le projet ;
- le **dépositaire de l'information réelle** mesurée sur le terrain par divers capteur de pression, température, vent.

À ce titre, il est donc possible de :

- **contrôler** si l'ouvrage se comporte effectivement comme prévu ;
- **simuler** son comportement ultérieur en cas de non-respect de ses conditions normales de d'utilisation.

Ex. : un poids lourd s'écrase sur une pile d'un pont et brûle. L'instrumentation de la pile remonte des informations. Elles permettent ultérieurement de **simuler** les conditions de l'accident virtuellement, via un moteur de calcul préservé dans la MN, et ainsi **d'estimer** si la structure du pont est toujours viable.

La MN pour stocker et gérer les évolutions de l'ouvrage

L'information hébergée par la MN est la **retranscription virtuelle** de la réalité. Les concepteurs/constructeurs en livrent une version à jour (DOE) à la livraison de l'ouvrage.

C'est l'**exploitant** qui doit **maintenir à jour** cette information. Ainsi, tous les **rapports** d'incident, de réparation, d'intervention doivent être « **attachés** » **aux objets virtuels** concernés dans le monde réel. Les objets réparés ou remplacés doivent être **modifiés** en conséquence au sein de la MN.

Il s'agit donc d'utiliser la MN comme **dépositaire** de toutes les informations remontant de la maintenance (GMAO)¹².

Se prémunir contre l'obsolescence informatique de la MN

Un projet d'infrastructure n'est pas un consommable ou encore un bien de consommation standard. Il modèle **durablement** le paysage. Et, même d'ampleur restreinte, il revêt *a minima* des dimensions physiques qui en font par nature un ouvrage qui ne sera pas démantelé avant un **minimum de 30 à 100 ans** selon les contrats.

Maintenir le système de gestion et les données

L'exploitant doit maintenir les **données virtuelles** de la MN reproduisant la réalité « du terrain » (construction et exploitation). Pour atteindre cet objectif, il doit donc maintenir, et le système informatique support, et la formalisation informatique de la MN.

Cela passe par ces composantes essentielles et liées :

- **le système de gestion** (software et hardware) des informations en investissant régulièrement dans un système plus performant et plus innovant ;
- **les données** dans une formalisation informatique (format de fichier) à jour, efficace et compatible avec le système d'information en place ou à venir ;
- **le renouvellement régulier des supports** pour éviter la perte de données.

Exemple d'obsolescence

Illustrons notre propos par l'exemple d'une personne ayant rédigé une thèse professionnelle dans les années 1980. Elle ne peut aujourd'hui en exploiter la version informatique éventuelle d'alors pour ces raisons :

- Il n'y a **plus de lecteur** pour le support physique utilisé alors pour héberger le document. En admettant qu'un tel lecteur puisse être trouvé, le support sur lequel les informations ont été stockées a de bonnes chances de ne plus être lisible.¹³
- Le **format informatique** du support de stockage est **incompatible** avec les systèmes d'exploitation actuels.
- Le format informatique du document est **incompatible avec les traitements** de textes actuels.

Enfin pour élargir, on peut dire que pour maintenir à jour parfaitement cette thèse professionnelle, l'auteur devrait la **reprendre régulièrement** pour en maintenir le propos d'actualité.

¹² Gestion de maintenance assistée par ordinateur

¹³ Contrairement à des idées communément répandues, la durée de vie des supports de données modernes est limitée, par exemple 2 à 5 ans pour un CD/DVD gravé (ces durées ont une très forte dispersion).

Page laissée blanche intentionnellement

E - Redistribution des responsabilités

Introduction.....	114
Les responsabilités	114
E1 – Évolution des schémas contractuels	115
Les schémas contractuels.....	115
Schéma contractuel classique	116
Schéma contractuel de conception-construction (ou D&B)	117
Schéma contractuel de la concession (ou PPP)	118
Contrats et incitations au travail collaboratif	119
MN et/ou travail collaboratif.....	119
E2 – Le partage des responsabilités	120
Opportunités et risques liés au travail collaboratif.....	120
Risques et opportunités liés à la MN	122
Impacts sur le partage des responsabilités	124
La MN, aide à la rédaction et à l'exécution du contrat	125
Perspective : la MN outil de tests virtuels de certains fonctionnements	126
E3 - Modalités de validation en ingénierie concourante	127
Modèle de validation de l'industrie	127
Validation des projets d'infrastructures avec la MN.....	128
Responsabilités dans le processus de validation.....	129
Niveau de détail, précision et incertitudes.....	130
Model checkers	132
E4 - Propriété intellectuelle et savoir-faire	133
Introduction	133
Apports initiaux et connaissances antérieures	133
Protéger les données privées existantes	134
Favoriser et partager l'innovation.....	134

Introduction

Les responsabilités

Nous avons décrit précédemment :

- la création de valeur par la MN (chapitre B),
- la structuration et la circulation des informations (chapitre C) qui permettent de les réaliser,
- les adaptations organisationnelles nécessaires (chapitre D).

Nous approfondissons ici les **évolutions et changements** concernant la répartition des responsabilités. Ils sont entraînés ou rendus souhaitables par le développement du travail collaboratif et l'usage de la MN.

Cinq sujets analysés

Ce chapitre comporte 5 parties :

- évolution des schémas contractuels,
- partage des responsabilités,
- modalités de validation en ingénierie concourante,
- évolutions des responsabilités pour chacun des acteurs,
- propriété intellectuelle et savoir-faire.

E1 – Évolution des schémas contractuels

Les schémas contractuels

Il existe actuellement beaucoup de schémas contractuels. Il n'est pas nécessaire de les recenser ici pour analyser les impacts du travail collaboratif et de la MN.

Trois schémas contractuels pris en exemple...

Nous avons choisi de présenter seulement les trois schémas contractuels suivants :

- « **Classique** » avec MOA lié par des contrats avec un MOE, des entreprises et d'autres prestataires.
- **Conception-construction** (ou D&B = *Design & Built*), matérialisé par un contrat unique du MOA avec un groupement concepteur + constructeur.
- **Concession** (ou PPP) dans lequel le concédant a un contrat global avec un groupement de concepteurs, constructeurs, exploitant et financeurs.

... pour en faire ressortir les différences

Nous voulons ici montrer leurs différences d'aptitude :

- au développement du **travail collaboratif**,
- à la mise en place d'une **MN partagée**.

Nous ne cherchons pas à faire une analyse détaillée. Il faut néanmoins souligner qu'un **transfert de responsabilité** en apparence mineur peut modifier fortement le fonctionnement du dispositif, en particulier vis-à-vis du travail collaboratif.

Cinq sortes de liens contractuels

Cinq sortes de liens contractuels peuvent être distinguées entre les acteurs. Ils sont représentés dans les schémas ci-dessous par des signes différenciés selon la légende suivante :

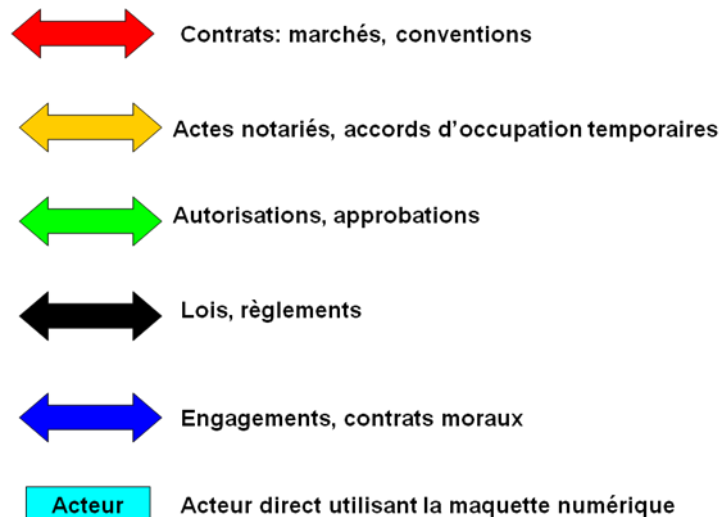


Figure E1-1 : Légende des schémas contractuels

Schéma contractuel classique

Le schéma contractuel le plus répandu actuellement est celui basé sur un MOA qui cumule les fonctions de **propriétaire** de l'ouvrage et **d'exploitant**. Il s'applique par exemple dans les projets d'infrastructures pour l'État ou les Collectivités. Ces organismes possèdent des services techniques en charge des projets ainsi que leurs propres services d'exploitation des infrastructures.

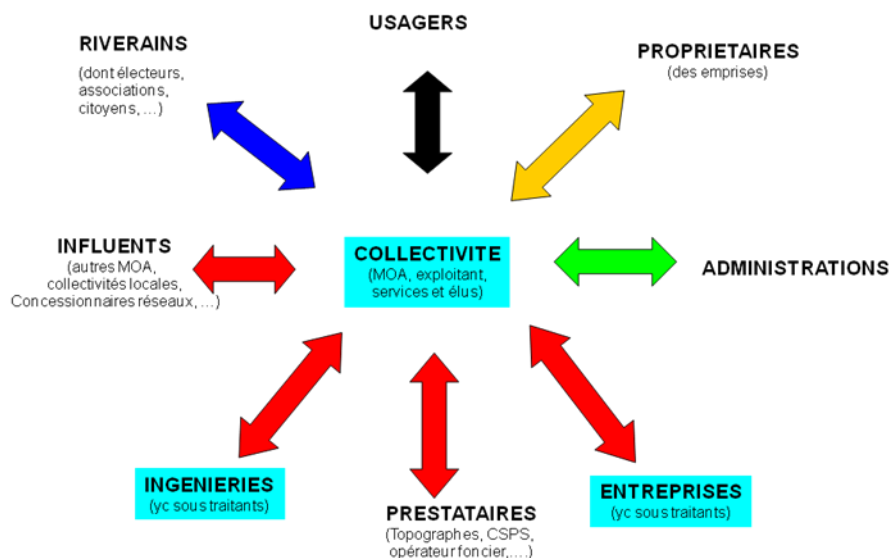


Figure E1-2 : Schéma contractuel classique

Le MOA passe des contrats

Le MOA passe des contrats avec chacun des acteurs directs, en particulier avec le MOE et les entreprises de construction. Il peut aussi dans certains cas passer, pour l'exploitation, un contrat avec un exploitant externe à sa structure.

Le MOE gère les contrats du MOA

Le MOE a la responsabilité de la **conception** et de la **gestion** de l'exécution des contrats de travaux. Il gère également les **contrats de prestations** (AMO, foncier, etc.) que passe le MOA avec d'autres prestataires dans le cadre du projet.

Les constructeurs sans liens contractuels avec le MOE

Les constructeurs sont ainsi en relation contractuelle **uniquement avec le MOA**, même si les contrats de construction, signés par le MOA, sont gérés par le MOE. Il n'y a pas de lien contractuel entre le concepteur et le constructeur.

Le travail collaboratif et l'usage de la MN spécifiés dans chaque contrat

Pour que le travail collaboratif se développe entre les acteurs, il faut que :

- cela soit spécifié dans les **contrats**,
- les objectifs des acteurs soient **convergents** de ce point de vue,
- une **entité** soit chargée d'harmoniser et de piloter le dispositif collaboratif.

Schéma contractuel de conception-construction (ou D&B)

Le schéma D&B, répandu depuis quelques années, se définit par la constitution d'un groupement entre les concepteurs et les constructeurs. Un **contrat unique** lie ce groupement avec le MOA.

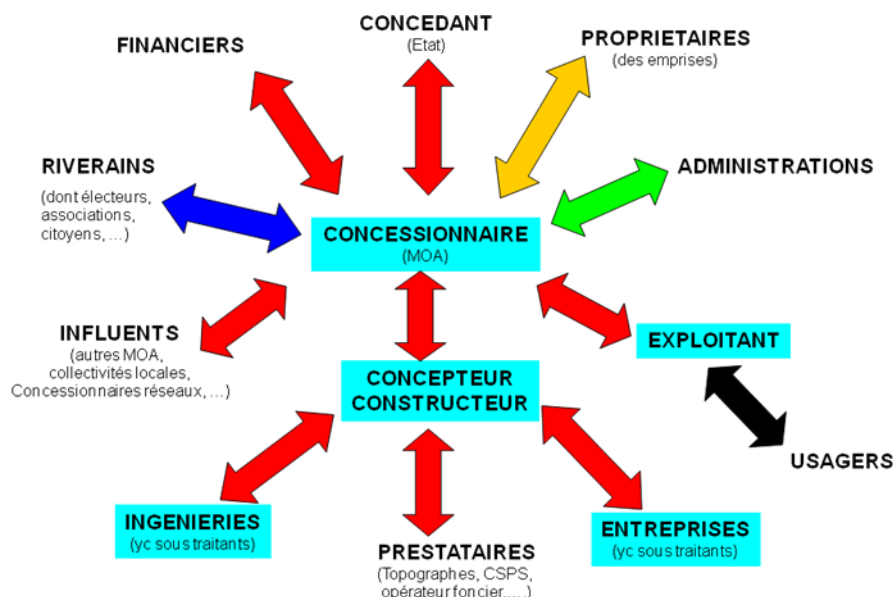


Figure E1-3 : Schéma contractuel de conception-construction (ou D&B) avec concession

Le MOA peut être un concessionnaire ou une collectivité

Dans le schéma ci-dessous, nous avons retenu un MOA qui est le **concessionnaire**. Le schéma peut aussi être une adaptation du schéma classique avec une **collectivité** (État ou collectivité territoriale) en regroupant dans un même contrat les ingénieries, les prestataires et les constructeurs.

Cela ne dispense pas d'un contrat entre le MOA, et un MOE pour gérer l'exécution de l'ensemble des contrats signés par le MOA.

Il y a transfert de responsabilité du MOA

Le changement majeur par rapport au schéma classique est de transférer la responsabilité de la conception du maître d'œuvre au **groupement de conception-construction**.

L'ingénierie concourante est encouragée

Ce transfert constitue un premier pas vers l'ingénierie concourante. Il permet en effet de trouver une **communauté d'objectifs** entre la conception et la construction.

Une collaboration entre le concepteur et le constructeur se trouve encouragée, même s'il reste à organiser contractuellement le travail collaboratif à l'intérieur du groupement de conception-construction.

L'**objectif commun d'optimisation** du projet est mieux traduit dans des clauses contractuelles incitatives. Le contrat comportant ces clauses est celui, unique, passé entre le MOA et le groupement.

Schéma contractuel de la concession (ou PPP)

Le schéma de la concession ou du partenariat public-privé (PPP) est particulièrement intéressant par rapport au travail collaboratif et à la MN lorsqu'il rend contractuellement solidaires les quatre acteurs majeurs du projet, sous la forme d'un groupement « concessionnaire-concepteur-constructeur-exploitant ».

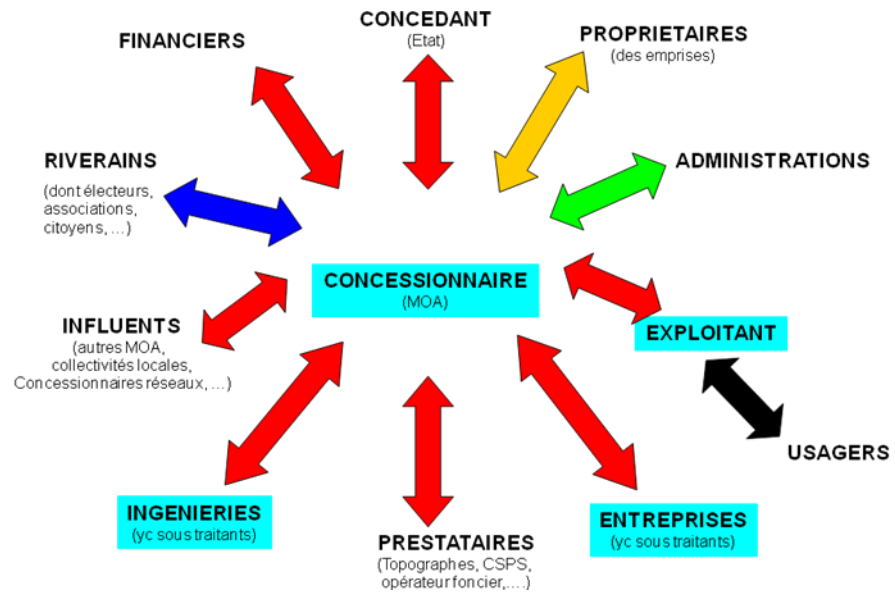


Figure E1-4 : Schéma contractuel de la concession (ou PPP) sans D&B

Un contrat d'objectifs

Le concédant passe alors avec ce groupement un **contrat global d'objectifs**. Un tel groupement rend possible une optimisation globale du projet encore supérieure à celle du D&B.

Un acteur unique non constructeur, concepteur et exploitant est une forme dégradée

Dans la pratique actuelle, la concession ou le PPP ont souvent des ambitions plus limitées. Ils ne recouvrent qu'un simple transfert de certaines responsabilités (et risques) du MOA vers un acteur unique.

Cette configuration se ramène à un schéma classique auquel s'ajoute un acteur supplémentaire : le **titulaire du contrat** de concession ou PPP. Elle peut simplifier certaines passations de marchés, mais sans instaurer du travail collaboratif. Elle est moins efficace que le groupement global contractant avec le concédant.

Le travail collaboratif et l'usage de la MN sont contractualisés en interne au groupement

Le travail collaboratif demande toujours une **traduction contractuelle**. Dans le cas de la concession ou du PPP, celle-ci peut avoir lieu plus tôt dans le déroulement du projet et avec plus de souplesse réglementaire.

Différentes structures juridiques sont envisageables pour intéresser les acteurs à l'optimisation globale du projet : participation financière à une société concessionnaire, société en participation, protocoles basés sur des objectifs de résultats, etc. Il s'agit de **formaliser un réel partenariat**.

C'est le schéma le plus favorable au travail collaboratif

Des trois schémas présentés, c'est celui-ci qui nous semble le plus favorable au développement du travail collaboratif, si le titulaire du contrat regroupe bien les acteurs directs du projet.

La mise en place d'une véritable **ingénierie concurrente** est rendue possible par l'intervention, avec des objectifs communs, des différents acteurs majeurs (conception, construction, exploitation) à toutes les phases du projet.

Ce schéma connaît actuellement un **développement important** pour les grands projets. Il faut prévoir son extension dans les années à venir, y compris pour les projets plus petits.

Contrats et incitations au travail collaboratif

Les clauses incitatives actuellement présentes dans la plupart des contrats sont basées sur des **primes** et **pénalités**, sans faire intervenir l'objectif d'optimisation globale du projet.

Elles sont largement **insuffisantes** pour entraîner le développement du travail collaboratif. Il est donc nécessaire de mettre au point, avec les juristes, des **clauses qui incitent** tous les acteurs à **se mobiliser** pour optimiser le projet.

Les schémas contractuels envisagés plus haut offrent à cet égard des possibilités différentes, résumées ci-dessous.

Schéma	Opportunités	Contraintes
« Classique »	Les responsabilités et risques encourus par chaque acteur sont définis dans un contrat séparé signé avec le MOA. Le MOA est aussi exploitant . Le travail collaboratif peut éviter les divergences résultant d'une coordination insuffisante des contrats. Les contrats bilatéraux facilitent la maîtrise de la confidentialité des innovations.	Tous les contrats sont placés au niveau du MOA. Il y a donc un risque de goulot et de perte de réactivité dans la coordination avec chaque acteur du projet. Le travail collaboratif doit être défini de manière cohérente et complémentaire dans chacun des contrats.
Conception-construction (ou D&B)	Il y a des facilités supplémentaires pour inclure des clauses d'incitation et d'intéressement du concepteur et du réalisateur à l'optimisation du projet. Ce type de contrat permet un partenariat tel que défini plus haut (i.e. avec partage des gains). La MN (imposée ou partagée) est un support de ce partenariat.	Les clauses doivent faire partie du contrat interne au groupement. Ce type de contrat conduit le groupement à prendre plus de risques . Il devrait donc se répercuter sur le coût du contrat passé entre le groupement et le MOA.
Concession (ou PPP)	Ce type de contrat permet un partenariat tel que défini plus haut. Le groupement concepteur-réalisateur-exploitant rend possible une optimisation maximale du projet par la mise en place d'une ingénierie concurrente complète (incluant l'exploitant).	Les clauses doivent faire partie du contrat interne au groupement.
	<u>Note</u> : il faut prendre en compte l' échelle de temps qui est beaucoup plus étendue , puisqu'elle couvre l'exploitation.	

MN et/ou travail collaboratif

L'usage d'une MN **impose** un certain nombre de clauses dans les contrats : propriété, gestion, validation, etc. Néanmoins, elle **ne conditionne pas** de façon nécessaire la nature des relations contractuelles.

La MN utilisable sans travail collaboratif

Il est possible d'utiliser et d'imposer une MN **sans** avoir avec, et entre, les utilisateurs, de véritables **partenariats**. Elle est utilisable dans tous les schémas contractuels.

Le travail collaboratif sans MN

Inversement, le travail collaboratif et les partenariats n'imposent pas l'usage d'une MN. Des concessions et des PPP sont actuellement conduits sans MN. Ce sont justement ces expériences qui ont conduit les partenaires de COMMUNIC à **réfléchir ensemble** à une **amélioration** par l'usage d'une MN.

L'optimum est le travail collaboratif avec la MN

Néanmoins, les schémas contractuels, qui incitent au travail collaboratif de tous les acteurs, sont ceux où la MN est la plus facile à mettre en place et où elle crée le plus de valeur ajoutée.

E2 – Le partage des responsabilités

Opportunités et risques liés au travail collaboratif

Une finalité d'optimisation et d'innovation

La mise en place du travail collaboratif a pour objectif général l'optimisation et la réussite du projet, en associant très tôt l'ensemble des acteurs. Ainsi :

- les capacités technologiques de simuler et d'évaluer globalement le projet dès l'amont ouvrent des possibilités **d'optimisation**, voire des possibilités **contractuelles d'intéressement**.
- la mise en commun des ressources et des approches des concepteurs, constructeurs et exploitants est susceptible de favoriser les **innovations**, tant **techniques** qu'**organisationnelles**.

Les **objectifs communs** qu'il faut partager doivent être affichés.

La répartition des gains d'un partenariat doit être claire

L'objectif des contrats de « partenariat » est la répartition d'un gain potentiel.

Le partenariat impose une relation contractuelle commune entre les intervenants à l'acte de construire ; à défaut, le partage des gains ne peut être arbitré entre les « partenaires ». Il convient donc de préciser dès l'origine comment se fera le partage des bénéfices ou des pertes qui pourront découler du travail collaboratif. **Ce sont ces clauses qui créent la motivation.**

Connaître les responsabilités de chaque acteur

Le travail collaboratif impose que chacun connaisse les relations contractuelles des autres avec l'acteur principal (commanditaire) ou, a minima, les rôles et responsabilités de chacun.

Cette transparence permet un meilleur fonctionnement et participe à l'établissement de la confiance.

Des freins identifiés : la croissance du juridique, la réglementation

Ce qui ressort malgré tout de nos réflexions, c'est que l'encouragement à l'utilisation de MN collaboratives doit passer par une **évolution du cadre juridique** actuel, en le rendant plus « **transparent** ».

Par exemple, les étapes séquentielles du cycle d'étude d'un projet (loi MOP en particulier) doivent être réadaptées pour être **plus conformes** aux réalités de cette nouvelle façon de travailler.

Et, les phases d'avant projet détaillé (PRO) et de conception détaillée (EXE) deviennent de **plus en plus imbriquées**. Elles ne sont donc plus aussi distinctes que dans un schéma classique d'ingénierie. Celui-ci nécessite la finalisation de la phase PRO afin de lancer les appels d'offre. Cela permet d'attribuer des marchés de construction, avant donc de passer en phase EXE de réalisation des plans d'exécution et de méthodologie de réalisation.

Deux éléments de contexte peuvent former un frein à l'état d'esprit collaboratif et à la créativité qui lui est associée :

- La **croissance du juridique** dans les relations entre les acteurs. Ces derniers sont incités à optimiser leurs contrats plutôt que le projet. La somme des optimisations des contrats est inférieure à l'optimisation potentielle globale du projet.
- Une **législation** et une **réglementation trop encadrées**. Le Code des Marchés Publics, les CCAG, la Loi MOP, etc.

Des clauses des contrats pourront prévoir comment **faire sauter ces freins** dans le contexte de chaque projet.

**Prévoir le traitement
des changements
de contenu
des missions
ou de moyens**

L'intervention très en amont du constructeur et de l'exploitant est susceptible de provoquer de **nombreuses reprises d'études** dans l'intérêt global, économique et technique, du projet. Ces reprises ont un **impact sur le budget** alloué au concepteur.

Inversement, le concepteur peut solliciter le constructeur pour réaliser par anticipation des **ouvrages d'essais** (prototype, préchargements, remblais d'essais, voussoirs d'essai, etc.).

De même, le travail collaboratif doit offrir une certaine souplesse dans la **mise à disposition de moyens** par les intervenants. Il faut donc prévoir dans le contrat de favoriser l'ajustement des moyens si cela permet d'optimiser le projet. Par exemple, il faut renforcer les études pour aboutir à un projet plus économique, ou à l'inverse faire une vérification anticipée de la constructibilité d'une variante.

Des **contrats d'étude** où le partage des risques est assumé entre constructeurs et concepteurs peuvent être envisagés sous forme d'un **forfait**, et complété par un **bordereau** permettant de gérer les aléas, risques et modifications. Ces clauses donnent de la **souplesse** et garantissent la **réactivité** des acteurs.

**Des clauses
sur la propriété
intellectuelle et
le non débauchage**

Ces contrats doivent également :

- Traiter de la **propriété intellectuelle** et du partage des **innovations** entre partenaires.
- Prévoir des clauses fortes de **non débauchage** pour créer la confiance nécessaire au travail collaboratif.

Ces clauses sont un préalable à l'établissement de **la confiance** entre acteurs.

Risques et opportunités liés à la MN

Les droits et devoirs de chaque acteur doivent être contractualisés

La mise en place d'une MN partagée s'accompagne d'opportunités et de risques qu'il convient de **traiter contractuellement**.

La base de données doit être commune et partagée par l'ensemble des partenaires. Cela permet d'utiliser (sans les ressaisir) les informations créées par les autres disciplines afin de leur **ajouter de la valeur et de l'expertise**.

Traditionnellement, l'envoi d'un plan 2D papier ou sous forme électronique non modifiable (PDF) demande une ressaisie des données par les autres partenaires qui veulent :

- les **utiliser** dans leur propre outil de conception ou de simulation,
- se les **approprier** et **contrôler** leur qualité (cohérence et conformité).

La récupération de données dans une base partagée impose une **confiance absolue dans la qualité** des informations. En effet, elles sont utilisées comme telles, sans remise en cause et sans contestation.

La donnée reste la **propriété** et donc de la **responsabilité** de celui qui l'a créée ou valorisée. Et ce qui est conçu avec cette donnée demeure également la propriété de son auteur, sans que la responsabilité de la donnée de base soit modifiée.

La MN constitue donc une formidable opportunité de **développer le partenariat** entre les intervenants à l'acte de construire. En outre, elle exige une clarification en termes de **responsabilités**. Le contrat doit notamment préciser pour chaque acteur :

- les droits d'accès à la MN,
- le contenu de la MN,
- les fonctionnalités fournies,
- l'accès ou la récupération de la MN en fin de projet,

et surtout :

- les devoirs de **partage** des informations,
- la **responsabilité des informations**.

Tout cela est une opportunité pour chaque acteur d'**optimiser sa prestation** en réduisant les coûts de production associés.

Des rôles dilués, mais traçables

L'origine des **optimisations** est parfois diffuse puisqu'elles résultent souvent d'un travail collaboratif.

Les **incitations contractuelles** peuvent être plus difficiles à mettre en œuvre, mais la MN enregistre les propriétés des informations et leur historique.

Les **rôles, apports et responsabilités** de chacun sont traçables.

Pouvoir identifier l'information pertinente

Si la MN permet de mieux exprimer les interfaces, elle donne aussi accès à des **informations plus globales** que celles qui sont strictement nécessaires à chaque acteur.

Si elle facilite normalement la compréhension du sujet, cette ouverture peut s'accompagner de malentendus sur la nature des informations qui sont **contractuelles ou non**. Les contrats (et le paramétrage de la MN) devront donc identifier les informations contractuelles de la MN, avec un ordre de **préséance**. Notons que nous le faisons aujourd'hui en listant les documents contractuels par ordre d'utilisation contractuelle.

La gestion du flou pour éviter les incompréhensions en communication externe

Il y a un risque, notamment pour les riverains et les tiers, de ne pas faire la différence entre ce qui est :

- **défini** et donc proposé à leur avis,
- et ce qui est **incertain**, qui peut encore évoluer.

En effet, la MN gère cette notion de flou et les utilisateurs (acteurs directs) savent en tenir compte. En revanche, les tiers (ex. : riverains) risquent de voir tous les objets avec le même réalisme. Une **charte** sur l'utilisation de la MN pour la **communication externe** est donc à élaborer et à référencer dans les contrats.

Attention à la taille de la MN

Il faut éviter une dérive de l'usage de la MN par une taille non maîtrisée. La MN hébergerait alors un « monstre » dont on ne pourrait raisonnablement plus garantir la cohérence.

Il faut donc définir des règles relatives aux dépôts d'informations : ne déposer que les **informations pertinentes et utiles** aux autres acteurs. Une structure par **maquettes emboîtées** (poupées russes) peut être une solution. Les contrats doivent préciser le choix.

Garantir la pérennité de la MN

L'évolution rapide des **technologies informatiques** représente un risque vis-à-vis de la pérennité de la MN (ce sujet a été abordé en fin de D5).

La responsabilité du maintien des informations qu'elle contient doit être affectée à **un acteur**. On pense évidemment au MOA. Mais, celui-ci peut déléguer par exemple à l'exploitant, ou externaliser ce maintien.

Les contrats comprennent l'**engagement** de maintien et d'accessibilité.

Un nouveau processus de validation

La MN conduit à des **changements de méthode** pour les validations et approbations. Les changements de statut des informations peuvent entraîner des transferts de responsabilité. Ces processus doivent être contractuellement définis.

Pour	Voir le module
Validations internes au projet	E3
Autorisations externes	D2

Les standards imposés doivent être définis

Un préalable au modèle global est l'interopérabilité des logiciels utilisés par les acteurs avec la MN. Cette interopérabilité repose sur un standard d'échange en **format neutre** et sur un **modèle de données commun**. Cette contrainte doit être contractualisée.

Les outils ne remplacent pas les expertises

Si la MN constitue une **passerelle d'échange** entre architectes, urbanistes, paysagistes et le concepteur technicien, elle ne se substitue pas à la logique constructive.

Il existe un **risque de déviance** de son usage : la MN 3D requiert un apprentissage et une maîtrise de l'outil informatique **plus important** que les outils traditionnels. Cette formation ne dispense pas de la formation technique qui permet de réfléchir à la conception

La MN n'est donc **pas une finalité, ni ne constitue une garantie** de la maîtrise de la conception.

Impacts sur le partage des responsabilités

La responsabilité de conception est plus partagée

Le travail collaboratif et la MN sont des données essentielles de l'organisation de projet. Tous deux ont de fait un impact sur le partage des responsabilités entre acteurs.

Dans un projet en D&B ou PPP, l'implication du constructeur (voire de l'exploitant) dans les phases amont de la conception **affecte les missions d'ingénierie**.

Même si la responsabilité du constructeur et de l'exploitant est faible dans les premières phases d'étude, leurs besoins et leurs contraintes sont pris en compte. Ceci supprime certaines étapes de décision, dans le but de :

- optimiser les coûts,
- réduire les délais du projet,
- identifier les risques et aléas.

La MN ouvre des possibilités technologiques pour modifier les rôles et responsabilités des acteurs.

Ainsi, les acteurs aval (constructeurs, exploitant) interviennent beaucoup plus tôt dans le processus de validation du projet. La **césure** traditionnelle entre **conception** et **construction s'atténue**.

Par exemple, on peut **plus facilement transférer** la responsabilité :

- des **plans d'exécution** des constructeurs vers les **concepteurs**.
- du **planning** général d'opération vers le **constructeur**.

Les responsabilités de chaque acteur vis-à-vis de la MN sont précisées

De manière générale, le travail collaboratif **dilue les responsabilités** entre les acteurs. Ce phénomène pouvant être accentué par l'usage de la MN, il est impératif de définir :

- l'**usage** de la MN, son **périmètre** et sa **propriété** ;
- la **valeur contractuelle** de la MN, des informations et des outils qu'elle contient ;
- la gestion contractuelle de la **confidentialité** et de la **propriété intellectuelle** des informations contenues dans la MN (voir module E5 : propriété intellectuelle).

La responsabilité du propriétaire (créateur) d'une information est renforcée

Des responsabilités et des devoirs apparaissent avec la MN.

Pour chaque information, un **propriétaire est enregistré**. Il en est le responsable dès sa **création**, et pour toutes ses **modifications ultérieures**. Cette responsabilité n'était pas aussi clairement et précisément définie sans MN.

En revanche, le passage à l'utilisation d'une MN collaborative partagée ne peut pas être imposé immédiatement à l'ensemble des intervenants d'un projet.

Certains sous-traitants ayant moins de valeur ajoutée, ils ne peuvent pas être impliqués dans le processus collaboratif. Leur responsabilité au sein de la MN (ex. : saisie de la valeur de certains attributs) est donc transférées vers les intervenants qui les emploient et qui doivent souvent les ressaisir.

Une **définition précise et contractuelle** des responsabilités de chacun doit donc être formalisée.

Une responsabilité spécifique et nouvelle est dévolue au gestionnaire de MN

En revanche, la responsabilité de la **cohérence** des informations contenues dans la MN, de leur **disponibilité** et de leur **diffusion** est confiée à un acteur avec des compétences spécifiques. Cette gestion de la MN, mission transversale aux différents métiers, doit se mutualiser et devenir un nouveau métier : le **gestionnaire de MN** (voir Module D1).

Le rôle de gestionnaire de MN peut être confié soit à un des **acteurs directs** du projet (ex. : MOE), soit faire l'objet d'un contrat passé par le donneur d'ordre avec un acteur externe (ex. : une plateforme collaborative de services).

Le système qualité du projet traduira cette répartition des responsabilités

Les rôles et responsabilités sont traduits dans les contrats et dans le système qualité du projet. Ce dernier précise notamment :

- par qui et comment sont réceptionnées les **données d'entrée**,
- comment sont réceptionnés les **documents** conformes à l'exécution,
- le **processus de validation** des éléments de la MN.

La MN, aide à la rédaction et à l'exécution du contrat

La MN peut avantageusement être utilisée pour fiabiliser les relations contractuelles lors de la passation des contrats.

Aide à l'exécution...

La MN permet des **simulations**, des **explications** et une **représentation** du projet qui facilitent son appropriation par les diverses parties prenantes. L'explication du planning et des phases de réalisation est beaucoup plus facile grâce aux simulations. La MN permet de :

- **Simuler avant** de signer des contrats (analyse de risques et recherche de variantes notamment).
- **Éviter** les **malentendus** entre contractants par une compréhension plus explicite du contexte.
- **Archiver** l'**état de référence** avant les optimisations (traçabilité, historique du projet).
- **Détecter** les **anomalies** à inclure contractuellement dans les systèmes qualité.

Définir plus explicitement les **interfaces** entre acteurs (périmètre d'intervention de chacun).

... et aide à la gestion des contrats

De même, la MN aide à la gestion des contrats. C'est un outil :

- **de traçabilité** des changements de programme et des modifications ;
- qui permet l'**évaluation** des modifications par des simulations de scénarios ;
- qui permet la **simulation** des coûts et des délais pour préparer des avenants ;

Précautions pour une MN devenant contractuelle

Il faut tenir compte de possibles malentendus dans la compréhension de ce que représente la MN. Il faut donc être **vigilant** lorsque la MN est une pièce contractuelle.

La MN est une représentation imagée (icône) du projet en cours **à une date donnée**, mais tous les éléments représentés n'ont pas la même valeur contractuelle. En effet, certaines représentations sont largement conventionnelles ou approximatives (arbres, éléments de décoration, etc.). À cet égard, des précautions juridiques doivent être prises en mentionnant par exemple : « **représentations non contractuelles** ».

Il est également utile de prévoir différentes représentations d'un projet, plus ou moins schématiques en fonction de la maturité du projet.

Perspective : la MN outil de tests virtuels de certains fonctionnements

Dans l'industrie, la MN permet de remplacer des essais sur des maquettes physiques en vraie grandeur par des **simulations numériques** (ex. : *crash test* dans l'automobile).

Pour que cet usage ait valeur officielle, il faut que la MN soit **certifiée**, c'est-à-dire « *conforme à des exigences spécifiées dans un référentiel* » (AFNOR).

De nombreux tests sur les infrastructures peuvent être réalisés sur la MN

Dans le domaine qui nous intéresse des infrastructures linéaires, on peut envisager qu'une **MN certifiée** permette une « acceptation » des caractéristiques de l'ouvrage préalablement à sa réalisation physique.

Cela peut concerner plusieurs domaines, dont les suivants :

- **Sécurité routière** : visibilité, respect des caractéristiques géométriques du tracé, du positionnement des équipements, signalisation, etc.
- **Sécurité ferroviaire** : cantonnement, signalisation, etc.
- **Sécurité incendie** dans les ouvrages souterrains : simulation des fumées, de l'évacuation des personnes, etc.
- **Performance** en exploitation et maintenance.

Les outils numériques garantissant ces performances doivent **être agréés**.

E3 - Modalités de validation en ingénierie concurrente

Modèle de validation de l'industrie

La validation concerne les composants, les assemblages et enfin le produit

Avant d'analyser les impacts de la MN sur les modes de validation dans le secteur du BTP, intéressons-nous au déroulement de ce processus dans les autres industries (en particulier dans les secteurs automobiles ou aéronautiques).

Dans la phase de conception d'un projet industriel, seuls des **composants** (ou parts) et des **assemblages** sont validés.

On découpe le produit en composants élémentaires, optimisés pour une production en série. Chaque composant est alors validé. Les composants sont ensuite rassemblés et fixés ensemble, le plus souvent dans une usine de montage.

Le produit, en tant qu'assemblage de composants doit alors être également validé.

Le « cycle en V » de validation

Le cycle de vie d'un projet industriel de produits fabriqués en série est basé sur le principe du « cycle en V ».

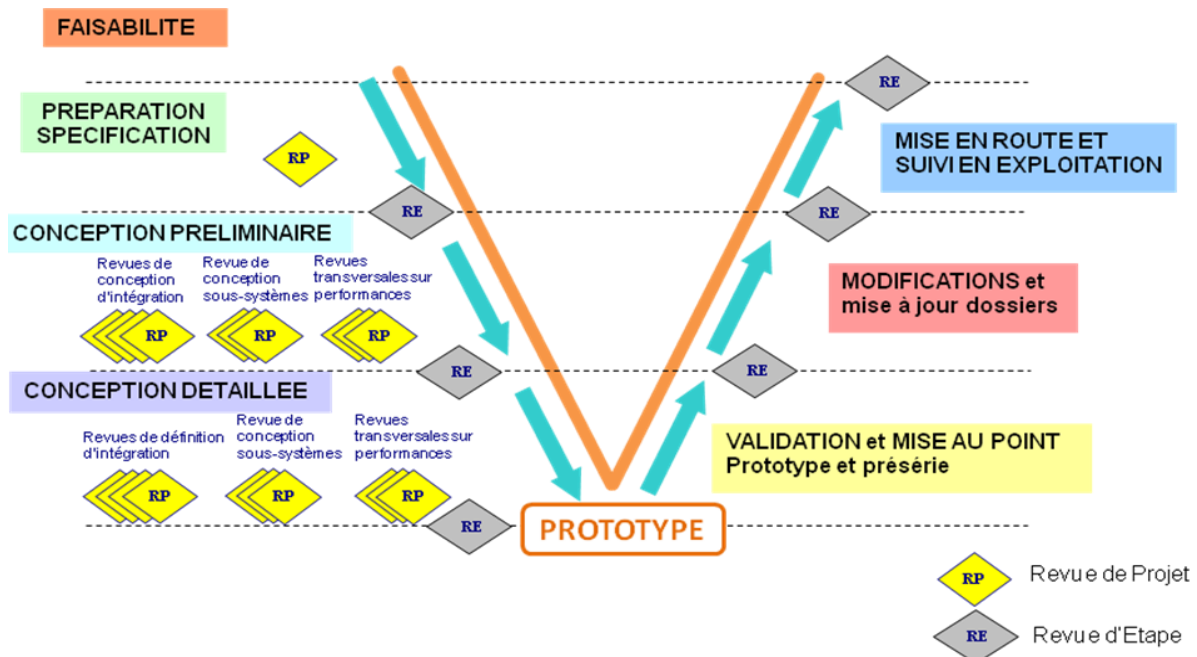


Figure E3-1 : Exemple de cycle en V utilisé dans l'industrie manufacturière

Toute la première branche descendante du V correspond à la **phase de définition et de conception**. La base du V est atteinte au moment où le premier prototype entre en **réalisation**.

La deuxième branche montante correspond à la **phase de mise en série** du produit et de sa maintenance.

La représentation en V de ce cycle permet de mettre en correspondance sur une même ligne horizontale des vérifications concernant le même niveau de détail :

Vérification	Niveau de détail correspondant
Mise au point	Conception détaillée
Mise à jour des dossiers	Conception préliminaire (grandes phases)
Suivi en exploitation	Préparations spécifiques au programme défini au début du projet.

Une validation tacite et sans plan de la conception

Pendant une grande partie de la phase de conception, il n'y a **pas de validation de plans** à proprement parler.

La validation, faite au fur et à mesure de la conception, est **tacite** : c'est aux *clashes* entre données, aux interférences, que l'on est attentif. Tant qu'il n'y a pas d'interférence identifiée, on considère que la donnée est valide, même s'il n'existe pas de statut spécifique de validation.

Les plans ne sont utilisés que pour la phase de **réalisation** du prototype puis pour la phase de **fabrication** en série.

Il y a une validation du produit industriel en **fin de fabrication**, par un organisme certifié externe (contrôle des Mines par exemple), qui donne son **accord pour autoriser l'utilisation** du produit.

Validation des projets d'infrastructures avec la MN**Travailler sur les objets et non sur les plans**

Ce **processus** basé sur la validation tacite des composants peut **être transposé** aux informations portées par la MN des projets d'infrastructure. Quelques adaptations sont néanmoins nécessaires.

Par rapport à notre mode de travail traditionnel, basé sur des plans, la MN apporte une **vision globale** basée sur les objets. Alors que le plan favorisait la vision locale (approche métier), la MN facilite la **coordination, l'assemblage** des objets ou composants.

Des étapes pour une conception de plus en plus détaillée

Tout comme un projet industriel, le cycle de vie d'un projet de construction est composé de **plusieurs phases** ponctuées par des « revues d'étape » (*Quality Gates*).

Chaque **revue d'étape** permet de décider **sur quelle base le projet va continuer** pour rester conforme aux spécifications du client. L'approche est une maîtrise des risques en termes de coût, délais, faisabilité.

Au fur et à mesure le projet s'affine et se détaille :

- 1** On fixe l'enveloppe du tracé (le fuseau) au cours de la première étape.
- 2** On précise le type d'ouvrage par zone (pont, tunnel, déblai, remblai).
- 3** On précise les grandes parties d'un ouvrage (portée des travées de pont, tunnel monotube ou non).

En fait, on déroule le découpage en composants de plus en plus détaillés.

Construire des prototypes

Les projets de construction sont **plus flexibles** que les projets des autres secteurs industriels car il n'y a pas de série : ce sont toujours des **prototypes**.

Les composants sont majoritairement fabriqués in situ

La majeure partie du projet est réalisée en place, **in situ**. Certains éléments sont parfois préfabriqués en usine et assemblés sur site, mais en proportion très faible, en particulier pour un projet d'infrastructure.

À la différence de l'industrie manufacturière, la construction ne gère donc pas « directement » des assemblages de composants. Le composant peut être vu comme la partie du **produit final** fournie par un métier sur un ouvrage précis.

Les composants **s'assemblent** pour constituer les objets construits, mais tout cela est réalisé en place par les différents métiers.

Le phasage de la fabrication est primordial

Le métier de **coordination** est chargé de **veiller à la conformité** de l'assemblage. De plus, le phasage de **construction** est **primordial**.

Responsabilités dans le processus de validation

Le bureau d'études, responsable de la revue de conception

Les *clashes* et les réclamations naissent principalement aux « frontières » des composants métier. La définition, la spécification et la réception des interfaces est critique et exige une structuration forte. C'est un point où la MN peut apporter beaucoup, sous réserve que les besoins soient clairement exprimés.

La revue de conception, sert à la **vérification de la conformité à un besoin** exprimé. C'est une revue interne à un bureau d'études. C'est lui qui statue sur la conformité de l'élément conçu au besoin.

Le composant obtient un statut de vérification interne qui lui permet d'être partagé dans un tronc commun avec les autres intervenants du projet. C'est une validation de l'information métier.

La direction de projet, responsable de la revue de projet

La revue de projet, sert à la **vérification de la cohérence des objets** avec les contraintes des autres disciplines. C'est :

- une **revue** qui rassemble l'ensemble des disciplines du projet, et qui permet de statuer sur la cohérence de l'information avec l'ensemble des données présentes dans la maquette.
- une **validation** de la compatibilité des différentes informations métier.

Le donneur d'ordre, responsable de l'expression des besoins

Dans ces deux types de revues, le client est rarement présent : en effet, il n'est pas forcément à même de juger la pertinence ou la cohérence des données techniques complexes. Il mandate alors un ou des experts pour s'assurer que la réglementation est bien appliquée, que la qualité attendue est atteinte, que la conception est conforme aux besoins exprimés.

Soulignons qu'il est primordial de formaliser les besoins du client, de les exprimer clairement et d'une manière quantifiable. Un besoin du type « de bonne qualité » reste subjectif et n'est pas comparable à une valeur mesurable.

Ce travail de clarification des souhaits du client peut être réalisé au fil de l'eau dans les premières étapes de la conception, alors que les esquisses et les propositions préliminaires sont ébauchées et présentées aux acteurs décideurs.

Le maître d'ouvrage, responsable de la revue d'étape

En sus de la revue de conception et de la revue de projet, nous introduisons maintenant la nouvelle notion de « revue d'étape », qui :

- permet de poursuivre la conception ou la réalisation d'objets ou parties du projet.
- fige les hypothèses qui sont à prendre en compte par l'ensemble des intervenants pour la phase suivante.
- enregistre la **conception répondant aux besoins du client**, qui sont souvent mal exprimés en début de projet, mais qui deviennent de plus en plus précis au fur et à mesure des propositions de conception.

Un projet d'infrastructure est un projet complexe et très long à réaliser. Il est donc nécessaire d'obtenir des « approbations » intermédiaires afin de pouvoir changer de niveau de détail ou commencer les travaux.

La conception ne peut en général être entièrement terminée, car contrairement à l'industrie manufacturière, il est impossible d'attendre une validation finale de l'ensemble des composants et assemblages avant de commencer la réalisation du produit. La réception finale de l'ouvrage fait partie de ces étapes.

Niveau de détail, précision et incertitudes

Une précision adaptée à la phase du cycle de vie

Nous avons vu au chapitre précédent que les enveloppes s'affinent au fur et à mesure des étapes du cycle de vie du projet :

- Chaque discipline s'engage sur un volume ou un encombrement qui évolue légèrement à chaque nouvelle phase de conception.
- Chaque enveloppe est étroitement contrainte par les enveloppes environnantes : les interfaces avec les disciplines adjacentes ou en interférence doivent être vérifiées et éventuellement adaptées ou modifiées en fonction des nouvelles contraintes apportées.

À chaque phase du cycle de vie du projet, le niveau de détail à atteindre est parfaitement défini.

Ce niveau de détail doit impérativement être atteint, mais ne doit pas être dépassé non plus. Tout est question de « **juste besoin** » : il faut surtout éviter de « sur-complexifier », de trop détailler la conception. Il faut se limiter aux exigences de développement imposées par la phase en cours d'étude.

La précision sans valeur identifiée entraîne, surtout dans une phase préliminaire très amont, un **niveau de détail incompatible avec les outils** de simulation utilisés. De plus, les **volumes de données** trop importants peuvent nuire aux performances d'échange et de transfert.

Prendre le risque de travailler avec une donnée partageable non figée

À chaque phase, et pour chaque tâche à réaliser, il faut vérifier que les entrants sont validés ou, du moins, que leur statut est « partageable » (il ne se produit pas d'interférence avec d'autres données).

Si un entrant n'est pas validé mais n'est pas en conflit avec une autre donnée, il est souvent préférable de le prendre en compte afin de progresser, malgré le risque de le voir modifié ultérieurement. C'est le **principe même de l'ingénierie concurrente** : si chacun attend que les données environnantes soient validées et figées, personne ne peut progresser.

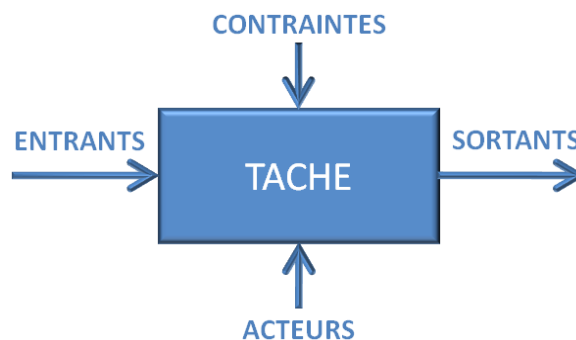


Figure E3-2 : Schéma d'une tâche élémentaire

E - Redistribution des responsabilités

E3 - Modalités de validation en ingénierie concurrente (suite)

Niveau de détail, précision et incertitudes (suite)

Enregistrer les hypothèses de conception de chaque tâche

Pour chaque tâche à réaliser, il faut également spécifier et stocker les versions des entrants que l'on prend en compte. Ce sont les hypothèses précises que l'on utilise pour réaliser la tâche (voir les notions de ligne de base et de date d'effectivité décrites au chapitre C4 du livrable L1).

Cette attitude systématique permet de concevoir sans être paralysé par les évolutions qui sont simultanément en cours sur les hypothèses utilisées.

À la fin de chaque tâche, la revue interne de conception permet de vérifier la conformité du travail réalisé avec le besoin exprimé. Cette conformité permet de « publier » le sortant afin de le partager avec les autres disciplines.

Le propriétaire chaque information doit informer sur l'incertitude attachée

Il faut aussi rappeler que chaque information a un propriétaire unique. Le découpage en objets doit donc tenir compte des métiers. Chaque attribut qui précise les propriétés d'un objet ou chaque lien doit appartenir à l'expert en charge de le définir et de le valoriser.

Sur un plan, l'incertitude s'exprime aussi par l'échelle : plus l'échelle est petite, plus l'incertitude est grande. **Cela ne s'applique plus à la maquette.** La fonctionnalité « zoom » masque tout. Il faut trouver une autre règle de représentation graphique pour représenter les zones « floues ».

Pour résumer, le risque est de faire croire que l'on sait, du fait que la MN nous montre une « belle image ». Il faut donc veiller à ne pas cacher son ignorance sous une jolie image, la forme ne doit pas primer sur le fond.

Model checkers

Le risque introduit par les possibilités de l'informatique

La MN et l'échange de données directement exploitables par une machine (sans devoir être analysées par un humain) mettent en évidence un **risque fort sur la qualité du modèle**.

Traditionnellement, l'architecte dessinait l'organisation d'un bâtiment, l'ingénieur structure reprenait ce plan et en établissait le plan structure, que reprenait le métreur pour en faire le métré béton. Avec l'utilisation d'une MN collaborative, peut-on faire directement le métré à partir de la maquette architecte ? Informatiquement oui. Mais n'est-ce pas risqué ?

Les model checkers, pour aider l'homme à décider, non le remplacer

Pour lever ces risques, il existe des outils de contrôle du modèle, appelés **model checkers**. Le but de l'utilisation d'un *model checker* est de détecter automatiquement les incohérences et d'aider l'homme à prendre des décisions. Il ne s'agit aucunement de prendre des décisions automatiquement sans acceptation par un être humain.

Les *models checkers* sont **des outils au service d'hommes**, en particulier ceux qui créent de la donnée, ceux qui l'intègre dans un environnement et surtout ceux qui la contrôle.

Vérifier la sémantique des objets

Il s'agit de vérifier la conformité :

- au protocole de modélisation
- à la liste des champs qui caractérisent les objets.

Identifier les clashes

Il s'agit de détecter automatiquement les *clashes* :

- physiques entre objets (objets en doublons, objet pénétrant dans un autre),
- non physiques entre objets (distance minimale à respecter entre deux objets),
- entre un objet et un volume à laisser vacant pour pouvoir y intervenir,
- entre un objet et une réglementation (*smart code*),
- entre un objet et une spécificité du projet.

Vérifier les standards d'échange

Il s'agit de vérifier automatiquement le respect des formats d'échange avec la MN par les logiciels métier qui déposent ou extraient les informations.

E4 - Propriété intellectuelle et savoir-faire

Introduction

Le travail collaboratif et la MN sont porteurs d'innovations

Le travail collaboratif permet par la mise en commun d'expertises diverses de susciter chez chacun des acteurs des idées innovantes. De même, la MN est outil qui, par la vision globale des autres métiers, incite à adapter sa propre conception pour mieux l'intégrer dans le projet. Elle est donc porteuse de remises en cause et in fine d'innovations.

Ces innovations peuvent être propres à un acteur ou le résultat d'un travail de deux ou plusieurs acteurs.

Les acteurs doivent être rassurés pour innover

Nous avons constaté dans les chapitres précédents que la mise en place d'un outil de MN modifie les rôles de chacun, et donc conduit à les contractualiser sous une forme nouvelle. Il faut que cette contractualisation rassure les acteurs sur la propriété intellectuelle de ses apports au projet.

Contractualiser la protection de la propriété intellectuelle

Pour valoriser et protéger ces apports, il faut répondre contractuellement aux questions suivantes :

- Comment identifier les auteurs (individus, sociétés, organismes) de solutions innovantes ?
- Comment encourager les sociétés partenaires dans le processus d'innovation ?
- Comment répartir les gains entre les « inventeurs » ?

Il faut traiter successivement les apports initiaux des acteurs et l'incitation à l'innovation commune. C'est l'objet de ce chapitre.

Apports initiaux et connaissances antérieures

Il s'agit de préciser dans quelles conditions les connaissances antérieures d'un partenaire pourront être mises à disposition du projet et des autres acteurs.

Dans les conventions liant les différents acteurs du projet, il peut être judicieux d'incorporer un article rédigé comme suit :

"Dans la mesure où le Projet nécessite l'utilisation de connaissances antérieures qui sont la propriété d'un partenaire, les autres s'engagent à les utiliser uniquement pour mener à bien les tâches qui leur incombent dans le cadre du Projet.

Ce droit d'utilisation est non exclusif, gratuit, non cessible et sans droit de sous licence.

La communication et/ou mise à disposition par un partenaire de ses connaissances antérieures ne pourra en aucun cas être interprétée comme conférant un droit quelconque aux autres Parties, autre que celui stipulé ci-dessus."

On pourra ajouter également :

"Les dépôts de brevets, de logiciels et autres développements spécifiques protégés par le droit de propriété corporelle ou incorporelle ainsi que le savoir-faire (procédés, technologies, informations conservés confidentiels) dans un domaine identique ou connexe du projet, détenus ou contrôlés par chacun des partenaires et obtenus lors du présent protocole ou antérieurement à sa date de prise d'effet, resteront la propriété exclusive de leur détenteur".

Protéger les données privées existantes

Ici la difficulté vient de la frontière plus subtile entre données privées non partageables et données privées mises à disposition d'un ou plusieurs acteurs dans le projet.

Ce problème est déjà bien identifié lors de l'utilisation commune d'armoires à plans ou plus généralement de serveurs assurant la gestion électronique des documents du projet.

La solution avec la MN est de rendre **inaccessibles** (et même totalement invisibles à l'écran si besoin) les répertoires privés de tel ou tel acteur par une hiérarchie de droits d'accès (voir détails dans le chapitre C). Il faut néanmoins être conscient que l'utilisation d'une MN, où des millions d'informations sont partagées, rend la protection des données privées beaucoup plus complexe que dans les situations traditionnelles.

Favoriser et partager l'innovation

Le schéma classique séquentiel est plus simple, mais sans effet de levier

Dans le mode séquentiel, chaque acteur bénéficie directement des gains apportés par une bonne idée, une bonne pratique, mais sans effet "multiplicateur".

Par exemple, si l'entreprise découvre en cours de chantier une méthode innovante de réalisation plus économique, elle sera incitée à la mettre en œuvre. En revanche, si l'innovation n'entraîne que des gains de quantités dans l'ouvrage rémunéré au bordereau de prix, la motivation sera limitée car le gain ira essentiellement au maître d'ouvrage.

Ce frein peut être combattu par l'utilisation de formules d'intéressement répartissant le gain entre les acteurs du projet).

Enfin, le mode séquentiel fait apparaître plus clairement les apports de chacun en termes d'innovation puisque les échanges sont peu nombreux et balisés par les émissions de documents.

Le schéma collaboratif a un effet multiplicateur

Dans le mode collaboratif avec l'usage d'une MN, l'innovation est créée de façon parfois diffuse par le groupe de travail. En revanche, les gains de projet (observés plus tôt dans le temps) vont bénéficier à plusieurs acteurs avec un effet "multiplicateur".

Dans ce cas il est d'usage de convenir d'une clé de répartition des gains potentiels selon un principe convenu au départ. Ce principe envisagera l'affectation à un partenaire son apport est décisif d'un partenaire et peut être clairement identifié.

Le dépôt de brevet peut être rémunéré suivant le même principe de répartition

Il s'agit de préciser au départ le principe et d'en faire l'adaptation à chaque innovation brevetable en précisant :

- les inventeurs,
- les sociétés auxquelles ils appartiennent,
- les modalités de dépôt de demandes de brevet, tant en France qu'à l'étranger,
- les modalités de maintien en vigueur,
- la clé de répartition de la rémunération du brevet,
- la clé de répartition des recettes d'usage.

Débauchage de compétences

Le travail collaboratif permet la découverte de talents

Le travail collaboratif développe les échanges entre les individus. Chaque acteur **découvre les compétences réelles** des collaborateurs du projet.

L'usage de la MN peut **réduire les contacts physiques** en échangeant les informations à distance. Ces échanges n'empêchent pas de découvrir les talents des partenaires. Et, il y aura des phases de travail en plateau physique.

Enfin, le travail en mode projet développe chez les collaborateurs un sentiment de **double appartenance** entre la société qui l'emploie et le projet sur lequel il intervient quelquefois pendant plusieurs années. Il y a donc un **risque de débauchage** durant le projet ou à son achèvement.

Prévoir des clauses de non-débauchage

Les clauses de non-débauchage incluses dans les contrats sont d'une application souvent difficile. Néanmoins, le fait de les avoir écrites est un frein. Il faut donc les prévoir de **manière systématique**.

Le développement du travail collaboratif est fortement **basé sur la confiance** entre les partenaires. Le respect d'une clause écrite fait partie de cette confiance en particulier pour les futurs projets sur lesquels il faudra bâtir un nouveau partenariat.

Résultats issus de l'exécution du projet

Chacun reste propriétaire de l'exécution de sa part du projet

La clause suivante sera utilement incluse dans les contrats :

« Chaque partie est propriétaire des résultats brevetables ou non, issus de l'exécution de sa part du projet.

À ce titre, cette partie décidera de l'opportunité et de la nature des mesures de protection à prendre et engagera les procédures nécessaires à son nom et à ses frais. »

Les résultats produits en commun sont une copropriété

La clause suivante sera utilement incluse dans les contrats :

« Les résultats non brevetables, obtenus en commun par les parties lors de l'exécution des travaux du projet, seront la propriété commune des parties qui ont contribué à cette production de résultats communs. »

Page laissée blanche intentionnellement

Annexe 1 : Valeurs et usages attendus par les acteurs directs

Attentes des maîtres d'ouvrage

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
	<i>(la MN permettra de)</i>	<i>(explicite et précise les valeurs et usages)</i>		<i>(cela se traduit par les spécifications)</i>	<i>(critères d'évaluation)</i>
2.1	Allotissement entre acteurs	Vue d'ensemble Simulation de projets partiels Description des interfaces et des liens entre acteurs	Concepteurs Constructeurs	Concevoir les liens pour cet usage (souplesse nécessaire) Faire nativement des extractions	Compréhension et autonomie de la MOA (nb de coups de téléphone pour comprendre)
2.2	Etre informé de	Etat du projet en termes de : <ul style="list-style-type: none"> • Coût • Avancement • Risques • Conflits et désaccords 	Tous	Globalité et pertinence Facilité d'usage (de type InfoTrafic) Capacité à trier et filtrer Affichage natif de l'avancement Affichage natif des points de blocage Fonction 4D	Fraîcheur des informations Vision synthétique
2.3	Maîtriser ses risques	Identification facilitée (accès organisé aux données) Evaluation par simulation Gestion et Traitement par simulation	Financiers Autorités	Identification des conflits spatio-temporels Application de « règles » pour l'analyse du risque contractuel Vision macroscopique des résultats de simulation	Réactivité (coûts et délais) Fraîcheur des informations Facilité de compréhension (lisibilité des simulations)
2.4	Suivi de son planning (le projet)	Affichage des états 4D (retards) Capacité à simuler des stratégies globales Pouvoir analyser des alternatives	Financiers Autorités Concepteurs Constructeurs	Approche 3D + temps + coût = 5D Capacité à être synthétique Gestion des tolérances temps	Réactivité Convivialité Fraîcheur des informations Facilité de compréhension
2.5	Évaluation globale du projet (impacts)	Vision holistique La MN est un outil de synthèse des impacts qui facilite la prise en compte des aspects environnement - sociétal - économique Capitalisation	Financiers Autorités Riverains	Stockage des délais et des coûts. Capacité à capitaliser sur les phases avalées	Réactivité Fraîcheur des informations Facilité de la compréhension Facilité du retour d'expérience → boucle vertueuse
2.6	Concertation	Convaincre les administrations et les riverains Vulgarisation	Collectivités Administrations Riverains et associations	Être utilisable en mode nomade (mode asynchrone) Capacité à être synthétique et convivial Extraction des données de la maquette pour obtenir uniquement les informations nécessaires Être interopérable avec les viewers appropriés Afficher les incertitudes	Satisfaction du représentant Qualité de représentation des phénomènes
2.7	Faire approuver par les autorités	Instruction des dossiers facilitée par une meilleure présentation de la conception. Une aide à la présentation Suivi des formalités administratives	Collectivités Administrations	Filtre et Extraction des informations utiles Validité des données Intégration des contextes GED + SIG + Moteur de Recherche (gestion de la connaissance)	Lisibilité

Annexe 1 : Valeurs et usages attendus par les acteurs directs

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
2.8	Approuver la conception	<p>Meilleure compréhension Vision globale et coordination Capacité à simuler les conséquences de ce qui est à approuver Validation de plans ou de modèles 3D ? Validation papier ou numérique ? Gestion des indices : plan, modèle, objet, attribut ? Traçabilité et historique</p>	Concepteurs	<p>Interopérabilité Visualisateurs simples et validations explicites Définir le workflow d'approbation Gel des informations et Gestion des historiques Cartographie des approbations Facilité d'utilisation Validation en cascade Actuellement « validation tout sauf... » Aide à la validation au moyen d'un Model Checker avec définition au préalable des règles (issues des hypothèses générales) ? Vérification de la conformité à son programme, à la réglementation et au niveau de qualité qu'il a exigé</p>	<p>Raccourcissement des cycles Ingénierie concurrente Facilité de suivi du statut des informations Qualité du modèle au-delà de la géométrie Conformité avec son programme et la réglementation</p>
2.9	Réception de la construction	<p>As built - DOE Gestion et traçabilité des réserves Gestion des parachèvements Mise en évidence des écarts « Maquette vs Réalité »</p>	<p>Constructeurs Concepteurs Exploitant Autres MOA</p>	<p>Capture de l'information sur les réalisations terrain Workflow de réception Cartographie des réceptions Affichage des écarts</p>	<p>Rapidité de réception et recollement Facilité de suivi Complétude des informations pour l'exploitant</p>
2.10	Communiquer	<p>Incidents de la construction sur l'existant : coupures, rétablissements...)</p>	<p>Collectivité Riverains</p>		<p>Fraîcheur des informations Temps de réponse Enquête de satisfaction auprès des riverains</p>
2.11	Vendre à l'exploitant	<p>L' « As built » devient l'existant Les simulations d'usage et d'exploitation sont déjà faites Historique et nomenclatures des équipements sont disponibles Appropriation précoce</p>	Exploitant	<p>Interopérabilité Capacité à trier et sélectionner Nouvelle organisation des données → capacité à réorganiser pour son utilisation future (vue métier différente)</p>	<p>Qualité du modèle (complétude, justesse et facilité de l'interopérabilité, justesse de la réorganisation)</p>
2.12	Gérer son patrimoine	<p>Stockage de l'historique et du contractuel Suivi des garanties</p>	<p>Constructeurs Concepteurs Assurances Concédant</p>	<p>Alertes sur les échéances des garanties Nouvelle organisation des données → capacité à réorganiser pour son utilisation future (vue métier différente)</p>	<p>Qualité du modèle (complétude, justesse et facilité de l'interopérabilité, justesse de la réorganisation)</p>

Attentes des concepteurs

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
	<i>(la MN permettra de)</i>	<i>(explicite et précise les valeurs et usages)</i>		<i>(cela se traduit par les spécifications)</i>	<i>(critères d'évaluation)</i>
3.1	Structurer, Faciliter la collecte des données externes	La structuration des objets de la maquette constituera une checklist des données nécessaires	Administrations Visites terrain Client	Définir les liens et interfaces entre les objets et les acteurs Interfaçage avec les outils existants de collecte de données (topographie, géotechnique, environnement, ...)	L'exhaustivité La gestion de la progressivité de la précision. La durée de la période de préparation L'organisation du modèle de données sans bloquer le système L'abandon des outils parallèles (doublons) à la maquette.
3.2	Disposer de données et contraintes pertinentes et faciles à récupérer et à consulter	Les données seront mises en ordre et explicites. Les données seront tenues à jour avec une fréquence à définir. Leurs niveaux de validité seront explicites. Les tolérances seront compréhensibles. La maquette numérique mettra en évidence les lacunes et donc la complétude.	Autres concepteurs Constructeurs Exploitant	Un système (workflow et organisation) très strict d'intégration et de mises à jour. Une gestion efficace des modifications (avec push sur les acteurs concernés). Un tri des données pertinentes pour chaque acteur et chaque objet (automatisation de choix de données en fonction du profil utilisateur). Accès aux autres données permettant de comprendre les contraintes et les marges de manœuvre et ainsi concevoir ou simuler. La standardisation des données échangées. Un modèle des données dès le début du projet. La gestion des variantes en cours d'analyse.	La culture de partage (évolution des organisations mises en place autour de la maquette). La transparence (pertinente), la confidentialité et donc la confiance dans l'exactitude des données. La complétude. L'interopérabilité. La confidentialité. La convivialité. Le temps d'accès réduit
3.3	Maîtriser les interfaces	La cohérence géométrique. L'identification des liens entre objets, entre processus et entre acteurs.	Autres concepteurs	La gestion de la précision et des tolérances.	La lisibilité de la maquette. La clarté des attributs des objets et des liens.
3.4	Mieux comprendre les contraintes des autres domaines et autres acteurs	La maquette permet de représenter les phénomènes de manière explicite et donc aide les non spécialistes à les comprendre. Les données sont fournies soit par d'autres concepteurs, mais aussi par les autres acteurs (constructeurs, exploitants,...). La mise à disposition de données permet de mieux comprendre le contexte.	Concepteurs (généralistes et spécialistes) Autres acteurs	Des filtres d'affichage des données : structurer la maquette pour supporter ces représentations (couleurs, zoom, incertitudes, tolérances, ...). Disposer de standards pour que les études fournissent des résultats représentables.	La lisibilité des résultats. Le partage de ces conclusions avec les autres concepteurs. Plus de problèmes d'interface.

Annexe 1 : Valeurs et usages attendus par les acteurs directs

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
3.5	Susciter des variantes d'optimisation	La vision même virtuelle de l'ouvrage tel qu'il sera construit mettra en évidence des pistes d'optimisation. Les données, les contraintes, leurs tolérances, les mises à jour autorisent une approche critique.	Concepteurs Constructeurs	Savoir gérer des variantes (traçabilité) et les configurations. Savoir traduire les latitudes autant que les incertitudes.	La lisibilité. L'exhaustivité des contraintes pour les autres acteurs. La gestion des configurations.
3.6	Simuler dès l'amont des phases aval de construction ou d'exploitation ou de maintenance	S'assurer de la faisabilité de la conception. Vérifier la possibilité d'exploiter l'ouvrage en cours de conception. La structuration des objets (le modèle des données) permet dès l'amont de représenter le projet dans sa totalité.	Concepteurs Constructeurs Exploitants	Partager très tôt la maquette avec les acteurs aval. Préserver la confidentialité des solutions innovantes. Récupérer les résultats des calculs de conception pour les représenter (visuel, acoustique, ...). Outil de post-traitement des résultats de calcul. Proposer un modèle de données évolutif (simple ou complexe).	Le nombre de conflits à résoudre. L'ingénierie concurrente.
3.7	Faciliter les simulations spécialisées	Pouvoir récupérer les données utiles (Idem § 3.2). Représenter de façon explicite les résultats.	Concepteurs spécialisés	Bien identifier les liens entre les métiers. Enrichir par capitalisation les liens entre métiers.	Le nombre de conflits à résoudre. L'ingénierie concurrente.
3.8	Faire des évaluations globales	Avoir à disposition des données cohérentes dans tous les domaines pour faire les évaluations de développement durable. La structuration des objets (et des données) permet à tout moment d'affecter des attributs quantitatifs ou qualitatifs à des processus de construction ou d'exploitation.	Concepteurs Constructeurs Exploitants	Partager les coûts de construction, d'exploitation et de démantèlement. Identifier les éléments déterminants d'évaluation et de valorisation (il n'y a pas que les coûts).	Émergence de méthodes standardisées (HDM4 par exemple)
3.9	Fournir des données aux autres acteurs de la conception et de la construction	Il s'agit pour les concepteurs d'utiliser la maquette pour fournir des résultats sous forme explicite. C'est une contrainte mais aussi une valeur de pouvoir valoriser sa conception. Pas de conception prévue dans la MN : uniquement base d'échange interopérable. La structuration des objets et des données permet à tout moment de délivrer des données à jour, pertinentes, nécessaires aux différents acteurs	Concepteurs Constructeurs	Faire le plus tôt possible part de sa conception. Savoir traduire ses incertitudes, les latitudes et les tolérances. Avoir les fonctions d'une base de données. Etre une base d'échange interopérable sans conception intégrée à la maquette (ne pas faire une usine à gaz – cascade par ex – où tout est intégré : uniquement base relationnelle étendue). Trier par métiers des données. Maîtriser les interfaces d'échanges et de partage. Standardiser les formes d'échanges.	Nombre de modifications tardives. Vitesse des échanges. Transparence des échanges (nombre de reprises manuelles).

Annexe 1 : Valeurs et usages attendus par les acteurs directs

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
3.10	Faciliter les reportings	La maquette permettra par une vision explicite de l'ouvrage de faire partager par le client (supposé non spécialiste) sa conception. La maquette facilitera l'information du MOA (ou autres décideurs) de l'avancement du projet (extraction des données pertinentes). Meilleure gestion du risque et de son évolution au cours du projet.	Client	Remplacer les comptes rendus d'avancement : archivage, historique et accessibilité Un système complet de requêtes sur les données	La rapidité de production La lisibilité des documents L'accessibilité et la convivialité des interfaces HM
3.11	Accélérer les prises de décisions	La vision globale de l'ouvrage avec des données cohérentes fournira nativement le contexte. Les simulations permettront de ne pas attendre des dossiers suivants. Les informations seront concentrées en un endroit et donc d'un accès faciles. La mise à jour des données et leur structuration permettra de regrouper facilement et rapidement les données nécessaires à la prise de décision.	Client Constructeurs Administrations Exploitants	Associer le contexte aux décisions. Cibler les décisions pour des validations partielles : avoir des processus explicites. Offrir une meilleure gestion documentaire (yc workflow). Suivre la validation du projet ou partie de projet. Intégrer les avis extérieurs	La complétude. L'accessibilité. Le raccourcissement du cycle d'appropriation. Le raccourcissement du cycle de mise à jour.
3.12	Faciliter les concertations	La maquette permettra par une vision explicite de l'ouvrage de faire partager la conception par les parties prenantes même non spécialistes. La maquette facilitera le suivi des engagements (de l'État). Les données mises à jour sont exploitables dans des formats adaptés.	Collectivités Administrations	Mettre en évidence les incertitudes et tolérances. Gérer le suivi des engagements de l'Etat. Offrir un outil de visualisation adapté à l'interlocuteur (formats de représentation). Faciliter la sélection des informations. Faciliter le report des informations collectées en concertation, et suivi des concertations.	La lisibilité. L'interactivité. Le coût de production. La qualité du suivi des engagements de l'État.
3.13	Communiquer	La maquette permettra par une vision explicite de l'ouvrage de faire comprendre la conception par le public.	Public	Ne pas laisser croire en ce qui n'est pas sûr et validé : critère de tri spécifique	La lisibilité La fiabilité

Attentes des constructeurs

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
	<i>(la MN permettra de)</i>	<i>(explicite et précise les valeurs et usages)</i>		<i>(cela se traduit par les spécifications)</i>	<i>(critères d'évaluation)</i>
4.1	Qualité du modèle (au-delà de la géométrie) Conformité avec son programme et à la réglementation	A partir de l'objet à construire et modélisé par le concepteur: - Découpage en tâches (planning) - Ressources et moyens nécessaires - Coûts - Optimisation des outils, approvisionnement des matériaux, circulation des engins - Optimisation du planning en fonction de l'avancement et des aléas - Prise en compte des problèmes environnementaux liés à la construction	Maître d'ouvrage Concepteurs Constructeurs (yc les sous-traitants)	Meilleure compréhension Études de variantes → Aide à la décision Cohérence globale Conduite de projet	Identification et traitement des conflits : diminution du nombre d'interférences dans le temps (suite aux simulations) et détection le plus en amont possible. Bonne qualité de la modélisation et des simulations : Seulement interférences « mineures » pendant la production.
4.2	Concevoir les méthodes de construction (Vision du responsable Méthodes)	Planning (traité ci-dessus) Points de détail des tâches Contraintes sur l'objet à construire et qui concernent les outils et leur mise en œuvre (inserts, déplacement et fixation d'outils, arrêts de bétonnage, détails ferrailage 3D, zones de travail, installations de chantier, sécurité, évacuation, ergonomie...)	Maître d'ouvrage Concepteurs Constructeurs (yc les sous-traitants) Riverains	Visualiser les tâches et leur enchaînement Étude de variante Recherche de conflits	Interférences mineures et peu nombreuses (Zéro défaut) Sécurité des ouvriers (Zéro accident) Chantier « furtif » (Zéro plainte de riverains)
4.3	Gérer les plans B	Anticiper les aléas le plus en amont possible Préparer les solutions de secours (action de protection) Préparer les solutions de contournement (action de réparation) Proposition de variantes (pour prise décision)	maître d'ouvrage Constructeurs (yc les sous-traitants) Riverains	Complétude des données disponibles pour prise de décision rapide avec impact maîtrisé (pour éviter un arrêt de production)	Délai de réactivité court Globalité des données (Nb de coups de téléphone à passer pour trouver les données manquantes) Nombre de jours d'arrêt de production non planifiés (Zéro jour)
4.4	Gérer et vérifier la mise à disposition des terrains	Valeur indépendante du constructeur et du concepteur, mais forte incidence sur le déroulement des travaux (nécessite grande agilité !). Remise à disposition des terrains utilisés pendant la construction	maître d'ouvrage Constructeurs Administrations Riverains	Vérification compatibilité planning / disponibilité des emprises Alertes de non compatibilité Définition du nombre de jours minimum nécessaire entre acquisition et début des travaux dans la zone. Intégration du processus foncier.	Nombre de fausses alertes (Zéro alerte) : « Terrain libre » faux ou « Terrain pas libre » faux

Annexe 1 : Valeurs et usages attendus par les acteurs directs

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
4.5	Fiabiliser les données	Resynchronisation des données à un rythme déterminé (synchronisation à la demande). Pas d'erreur dans la modélisation Les tolérances seront compréhensibles et définies La maquette numérique mettra en évidence les lacunes et donc la complétude.	Les concepteurs Les constructeurs Les exploitants	Un système (workflow et organisation) très strict d'intégration et de mises à jour Une gestion efficace des modifications (avec push sur les acteurs concernés) Un tri des données pertinentes pour chaque acteur et chaque objet avec accès aux autres données permettant de comprendre les contraintes et les marges de manœuvre et ainsi concevoir ou simuler. La standardisation des données échangées. Un modèle des données dès le début du projet. Description et énonciation de règles générales (liées à la réglementation et liées à l'organisation spécifiques du projet) → utilisation de « Model checker » pour ne pas limiter le contrôle à de la vérification visuelle	Temps d'accès court Anomalies toutes détectées (Zéro anomalie) Peu d'écart entre modèle de conception et modèle « as built »
4.6	Accéder aux modifications	On ne peut construire que ce qui a été approuvé (on s'intéresse à l'objet à construire et pas au document) → informations à jour et approuvés disponibles au début de la réalisation. Graphe étude des documents Conception et Méthodes, avec flux d'approbation parfaitement définis Suivi du statut des documents Nécessité de connaître l'ensemble des informations avant de construire (ressources et moyens)	Constructeurs	Alertes Gestion des réclamations Déclenchement de plans B	Nombre de fausses alertes (Zéro alerte)
4.7	Déclencher des idées	Meilleure compréhension de l'objet à construire et du phasage de construction Partager en amont la même vision afin de faciliter son appropriation et d'optimiser son exécution Meilleure appropriation de l'objet final et meilleure compréhension de la destination de l'objet à construire, afin d'optimiser le niveau de qualité requis	Constructeurs (yc les sous-traitants)	Gain de productivité	Nombre de réserves (?)
4.8	Aider à la décision	Capacité à visualiser une synthèse de simulation au sein de la maquette → Vision unique et plus compréhensible (pas d'interprétation d'expert)	Concepteurs Constructeurs	Visualisation des résultats par surfaces colorées ou déformées (Cf. salle de réalité virtuelle du CSTB - EVE)	Capacité d'affichage des simulations Totalité des simulations disponibles (Zéro échec en affichage)

Annexe 1 : Valeurs et usages attendus par les acteurs directs

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
4.9	Partager et échanger des données	Fournir des données aux autres acteurs Outils et systèmes différents → Format neutre d'échange pour éviter ressaisie Qualité du modèle d'échange : pas de perte de données échangées et précision conservée (ou dans tolérances acceptables)	Tous les acteurs	« Model checker » Règles d'échange spécifique à définir pour le projet	Zéro défaut
4.10	Maîtriser les risques	Identification, évaluation et priorisation des risques liés à : coûts, disponibilité des terrains, disponibilité des documents, disponibilité des ressources, qualité du modèle, précision des données, géotechnique (réutilisabilité de couches, qualité des relevés topos...), aléas météo et environnementaux, approbations et autorisations administratives, approvisionnements, disponibilité des matériels, matériaux, personnel...	Concepteurs Constructeurs	Nécessité d'outils de simulation pour évaluer les conséquences des risques identifiés Intégration des solutions palliatives et validations Visualisation des résultats de simulation → Prévission des solutions de secours et leur coût	Qualité des simulations : mesures in situ et comparaison avec résultats des simulations

Attentes des exploitants

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
	<i>(la MN permettra de)</i>	<i>(explicite et précise les valeurs et usages)</i>		<i>(cela se traduit par les spécifications)</i>	<i>(critères d'évaluation)</i>
5.1	Participer à la conception	Stimuler et déclencher des idées Établir le programme ou vérifier son fonctionnement. Évaluer le coût du programme d'exploitation	Concepteurs Constructeurs	Visibilité des modifications par rapport au programme. Gestion de scénario. Projection des choix de conception sur les coûts d'exploitation	Visualisation conditionnée de l'ensemble des données Affichage des bilans
5.2	Accéder aux modifications	En cours de projet, l'exploitant peut suivre les modifications du projet et interagir avec le MOA/MOE pour l'adapter. Gérer l'exploitation en phase de chantier.	Concepteurs Constructeurs	Visibilité des modifications par rapport au programme. Gestion de scénarios	Traçabilité Circuit de validation, statut
5.3	Travailler avec des données non redondantes et à jour	Établir le programme de l'exploitant vis-à-vis du concepteur et adaptation en fonction des évolutions du projet.	Concepteurs	Données spécifiques (filtres)	Non redondance, temps d'accès courts, pertinence de la donnée
5.4	Approuver la conception	Vérifier la conformité au programme d'exploitation	MOA Concepteur	Visualisation du programme d'exploitation Accès aux descriptifs du projet	Affichage de la performance des équipements (SHON, énergétiques, projection)
5.5	Anticiper la réception, la prise en main et la formation	Simuler sur équipements et ouvrage S'approprier l'ouvrage Former les agents d'exploitation avant mise en service (simulateur). Aider à la rédaction des procédures particulières d'exploitation, et simulation gestion de crise.	Concepteurs Constructeurs Fournisseurs MOA Service de sécurité	Introduction dans la maquette des notices et de la documentation Point de vue spécifique d'exploitant (Secours, intervention sur ouvrage...)	Fourniture des cahiers de recette Interface aisé et adapté au personnel Simulation de scénarios.
5.6	Obtenir un DOE performant (DIUO, Historique actualisé)	Mettre en ordre les données: nettoyer des données pour alléger la base initiale. Mettre à jour les données, telles que exécutées y/c NC. Archiver les données et faciliter l'accessibilité.	Exploitant MOA	Fidélité avec la réalité (Maquette actualisée), pertinence et précision Données organisées et standardisées Interface avec logiciels de gestion des archives	Fiabilité et complétude Accessibilité : navigation aisée
5.7	Tracer la vie de l'ouvrage, et l'entretenir	Gérer le patrimoine existant. Tracer des garanties de l'ouvrage Avoir un état à jour de l'état du réseau. Élaborer le programme d'entretien et l'optimiser en fonction de différents scénarios.	Exploitant MOA Fournisseurs	Filtres, points de vue (yc attributs) Aide à la planification des interventions Archivage des interventions Accidentologie Simuler des scénarios d'entretien Suivi des contrats fournisseurs Lissage des investissements	Évolutif et pérenne Stockage sûr Tableau de suivi et alarmes
5.8	Partager et échanger les données structurées	Mettre en ordre les données et faciliter l'accessibilité. Récupérer les ouvrages existants (gérer par d'autres outils par exemple) afin de gérer le réseau depuis un seul applicatif.	Autres intervenants	Découpage / Structuration du modèle de données / Pérennité Standardisation des données entre différents exploitants Interface avec les outils existants de gestion. Facilité et rapidité d'accès Fonctionnalité réseau à prévoir (linéaire infra).	Format neutre d'échange, Gabarit de travail unique, non ressaisie Pas de perte de données.

Annexe 1 : Valeurs et usages attendus par les acteurs directs

#	Valeurs et Usages	Commentaire	Vis-à-vis de qui ?	Caractérisation	Performance
5.9	Communiquer	Visualiser l'état du réseau.	Concedants Personnels Élus Usagers	Compatibilité logiciels régulation / Trafic Interface outil WEB pour client	Interopérabilité Accessibilité Interface WEB aisée
5.10	Aider à la décision	Gérer les situations de crise en réalisation des scénarios sur l'infrastructure et son environnement Simuler		Avoir les données sur le réseau global (gestion déviation par exemple)	Capacité d'affichage des différents points de vue
5.11	Géolocaliser les informations sur site et les consulter sur site	Visualiser et situer: - les limites d'emprises - les interventions Se repérer sur le réseau. Connaître l'infrastructure en détail et accéder aux données depuis le réseau.	Exploitant Riverains	Représentation cartographique du/sur site Interface GPS Outil embarqué ou accessible à distance depuis un véhicule.	Rapidité d'accès aux données IHM adapté aux agents d'exploitation
5.12	Concevoir et optimiser les aménagements futurs	Simuler (cf. 4.2 Concepteurs) Fournir les données aux concepteurs futurs pour élaborer des projets (réparation, modification, ...). La MN sera mise à jour en retour.	MOA Nouveaux concepteurs Exploitants	Droits d'accès à la maquette et modifications Interopérabilité avec outil de conception extérieur à la MN. Mise à jour des données (TN, réseau, bâtiments, ...).	Sécurité Pérennité de l'outil. Évolutivité et prise en compte des modifications externes. Faisabilité
5.13	Gestion des modifications en phase d'exploitation	Définir le modèle des données et des ressources appropriées	MOA Exploitant		Traçabilité Circuit de validation, statut

Annexe 2 : Synthèse des benchmarks



Expériences externes

Compte rendu et analyse des visites

chez AKER – AIRBUS – DASSAULT – DCNS – PSA

18 octobre 2008

	L1 - Modèle global	Page 147 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

1. Les industries en objet

Pour ces visites d' « étalonnage », ou benchmarking, auprès de sociétés ayant vécu l'aventure industrielle de passer à la « MN », les réflexions menées avec les équipes de recherche du CRG et l'UMLV, ainsi que l'adhésion de certains partenaires à des associations professionnelles comme MICADO et Medi@construct ont amené à choisir les secteurs suivants :

- La construction navale : les navires de charge, de combat, le sous-marin avec la Direction des Constructions Navales, et le paquebot avec AKER Yards (ex Alstom Atlantique).
- La construction automobile : PSA
- La construction aéronautique : les avions avec AIRBUS, Dassault et EADS.

Il est à remarquer que tous ceux-ci partagent avec le domaine du bâtiment (hôpitaux, bâtiments) et – objet central de COMMUNIC - des infrastructures (ouvrages d'art, infrastructures linéaires) le mot « construction » dans leur dénomination.

La présente note a pour objet de rendre compte des diverses visites d' « étonnement » qui ont été faites par les partenaires de COMMUNIC dans une première partie, puis de tenter d'en tirer des enseignements et questionnements utiles à la suite des travaux de COMMUNIC.

2. Les éléments bruts recueillis lors des visites

2.1 Métiers et stratégies : navires marchands, navires de guerre

Société Aker

La maquette est utilisée par 3 métiers :

- Le premier est au niveau de la conception en 3 étapes :
 - étape 1 : l'architecture navale à partir du cahier des charges du client pour des croisières doit prendre en compte la taille des bateaux, son arrangement général, sa vitesse et ses dimensionnements.
 - Étape 2 : l'étude du prix à forfait avec toujours une revue générale car il faut s'adapter à l'outil industriel.
 - Étape 3 : la conception générale après commande.
- Le deuxième métier est l'optimisation de la réalisation pour la fabrication de la coque du navire avec des moyens très lourds et la coordination avec l'armement intérieur.
- Le troisième métier est l'intégration de tous les aménagements intérieurs et la réalisation.

Quelques chiffres permettent de mesurer la complexité du travail : il y a 100 métiers à coordonner, 2500 personnes sur le chantier et 3000 personnes de prestataires externes dont 1800 sur le bateau. 75% de ressources sont externes. Il y a également 500 fournisseurs avec un taux de rotation très fort d'un navire à l'autre.

L'outil industriel est complexe. Il prend en compte tôles et profilés à découper au plasma et à assembler en petits éléments, la fabrication de panneaux et de petits blocs (panneaux plans, puis panneaux trois D, incorporant les hublots etc.), l'assemblage en blocs intégrant tous les armements de tuyauteries etc., le renversement pour travailler au sol ce qui va dans les plafonds (un bloc fait environ 16x32m ou <750t), l'assemblage des blocs en cale (un bateau c'est environ 90 blocs), la fabrication d'environ 1000 cabines en séries (mais aucune série de plus de 10) sans plancher mais avec sanitaires et tout le mobilier suspendu.

Les contraintes à respecter sont les suivantes : souci constant de réussir le "découpage" du navire (conflit entre la réalisation et l'exploitation à discuter en permanence avec le client), souci constant de respecter les tolérances de montage car les assemblages ne sont pas très rigides (chaud froid, soleil ombre etc.), souci constant de respecter les poids (de 2 à 3% de marge en début jusqu'à 0,5% en fin en fonction du centre de gravité).

Les axes stratégiques sont les suivants : la sécurité : viser un TF1 de 10 ; la gestion des fluctuations d'activités d'un facteur 3 sur un an ; la productivité, la gestion des courbes d'apprentissage (et pour cela, il faut favoriser le partenariat de long terme) ; la performance avec le lancement permanent d'actions de progrès ; le suivi, non du reste à dépenser mais du reste à progresser du fait de la prise de contrats avec l'anticipation d'améliorations.

Le modèle stratégique a évolué depuis le modèle Alstom au modèle Aker : chez Alstom, le chantier est centré, en d'autres termes « vous suivez nos procédures et nous vérifions ce que vous faites ». chez Aker, le chantier est polycentrique : il y a délégation au sous-traitant ou à un réseau de sous-traitants de toute une fonction ou de toute une zone, avec l'espoir de gains du fait de la responsabilisation et du partage des risques, des moindres flux d'échanges de données à gérer et de la possibilité donnée aux sous-traitants d'optimiser leurs propres chaînes avec d'autres clients tout en bénéficiant ainsi de leurs propres progrès dans leurs industries qui

	L1 - Modèle global	Page 148 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

Annexe 2 : Synthèse des benchmarks

suivent éventuellement d'autres voies que la nôtre. Cependant, l'intégration reste le fait d'Aker avec la transcription des schémas de leurs systèmes dans le système CAO d'Aker qui a conscience de ne représenter que très peu dans le monde de la CAO. Enfin, si l'on compare un paquebot avec d'autres navires : les navires de charge sont à très peu d'heures d'études, la chaîne est simple avec Tribon et APDA et PDMS mais un paquebot c'est un million d'heures d'études.

DCNS

La Société produit un objet technique assez ciblé très différent de la réalité d'une entreprise de BTP. Elle doit intégrer la notion de coût global et des problématiques de maintenance. Elle vend de la maintenance. Le client est fidélisé sur le long terme. Le retour d'expérience se fait en s'aidant des implantations locales. Il faut intégrer le client aux choix (facteurs humains, ergonomie). Il faut pour cela veiller à l'efficacité économique, à la relation client et à l'utilisation de la réalité virtuelle.

Le processus industriel se déroule en 3 phases :

- Phase 1 : la faisabilité de l'avant-projet.
- Phase 2 : de la faisabilité de l'avant-projet à la signature de la commande de développement.
- Phase 3 : d'abord le rebouclage des données éclatées vers le système global, puis l'aménagement général du navire avec la détermination des interfaces entre zones, le routage des plus gros tuyaux et le début de l'industrialisation de la coque et enfin le passage à l'industrialisation et le passage des premières commandes auprès des fournisseurs majeurs et à terme le transfert à la production.

Part propre et sous-traitant : 40% des études sont sous-traités, 70% des tâches lors de l'industrialisation. Des systèmes complets sont achetés pour 30 à 60% selon qu'il s'agit de sous-marins ou de navires de combat plus complexes. A noter : le passage en 12 années de 20 à 3 prestataires privilégiés et de l'existence de plusieurs projets ou navires en parallèle sur un même site.

L'organisation est la suivante : 1200 personnes à la direction de l'ingénierie.

La direction de pilotage intervient de la faisabilité du projet jusqu'à l'offre.

La direction des Opérations inclut :

- les chefs de projets,
- le pôle d'intégration (tourné vers l'avenir),
- le pôle système de systèmes et les directions techniques qui prennent en charge respectivement :
 - l'architecture du navire armé (avec l'architecte naval, les performances transverses et la prise en compte des facteurs humains),
 - le système de combat,
 - le système communication et réseaux,
 - le système de plates-formes et la structure et l'emménagement de la coque.
- Deux systèmes innervent l'ensemble : le système de management de combat et celui de la conduite du navire.

A noter : il y a 50 000 éléments au niveau fonctionnel (pour une frégate) mais 150 000 une fois les découpages réalisés, et 270 Kms de câbles. Et enfin : le générique de projets à projets, la base articles et le processus industriel et les processus outils.

	L1 - Modèle global	Page 149 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

2.2 Origine de la transition vers la MN

Le recours systématique à la MN est l'effet d'un ensemble de nécessités comme en témoignent les expériences de quelques grandes entreprises.

Ainsi, chez Airbus, l'impulsion a été donnée par Gérard Blanc (patron de la division avion de Aérospatiale). De surcroît, l'effet de la concurrence a joué puisque Boeing avait déjà commencé pour Airbus. En effet, l'idée était mûre à l'époque du fait d'une opération pilote chez Lufthansa pour des toilettes et aussi du fait que les compétences systèmes étaient plus demandeuses d'une MN en lieu et place des maquettes physiques. Enfin, il existait un Projet MNU d'Ingénierie concourante dès 95 : Sur A340-500 puis 600 puis Future Large Aircraft.

Chez Dassault Aviation, plusieurs réalisations existaient : Catia v1 en 1980, la première MNU sur le Rafale date de 1988. Chez Boeing, le 777 a été le premier avion conçu par MNU ; le Falcon 7X a été le premier avion certifié sur MNU. Enfin, il y a le programme Drone.

Chez Aker, la question du coût du changement ne se posait pas car c'était une question de survie que de passer le virage du numérique. Aker doit faire face à la concurrence d'un chantier allemand qui adopte Delmia pour simuler son chantier industriel, un constructeur de méthanier qui intègre toute une chaîne CAO et de simulation avec la recherche de solutions qui sortent les plans aux ateliers pour faire les panneaux intégrant les armements sur un simple clic de souris.

Chez DCNS, il faut souligner l'existence d'une maquette de troisième génération de 1995 à 2005, d'une maquette de 4ème génération depuis 2005 (vers GPAO) et la nécessité d'unifier les processus pour les sous-marins et les bâtiments de surface. Il faut également faire travailler tous les sites - Lorient, Cherbourg, Brest, Lille, Lyon - sur des outils similaires et pouvoir interopérer avec un gain espéré de 40% sur les études. Le coût visé de deux versions est de 1,2 fois seulement contre 1,8 auparavant. La maquette, qui permet la présentation des produits en réalité virtuelle, a un impact très fort. Elle évite les maquettes bois peu réactives. Elle a un potentiel très important pour les interventions de refonte de certains sous-marins et d'intervention en conditions très pénibles. Elle est nécessaire aux études. Sa présentation aux équipes de montage permet l'anticipation du montage. Enfin, elle permet la participation effective du client et elle est de ce fait très prisée par lui. Elle permet aussi la diminution des essais.

La situation chez PSA a été plus complexe du fait d'un certain nombre de divergences sur les choix à opérer. Fal-
lait-il une maquette intra ou inter entreprise ? Comment concilier l'existence d'une firme pivot au regard d'une multitude de parties prenantes ? Que choisir face au dilemme montrer ou cacher, ou faire ensemble ou séparément ? Comment dépasser les résistances et la peur de la dépossession du savoir ? Comment sécuriser les échanges de données ? Comment agir face à des fournisseurs passifs ? Comment faire en sorte que le personnel intermédiaire s'approprie la maquette ? Comment gérer sa propre fragilité et dépendance vis à vis des éditeurs informatiques ? Des solutions ont été trouvées grâce à quelques opportunités : d'une part, grâce à l'évolution homogène du secteur, sa forte culture de l'informatique et le petit nombre des acteurs. D'autre part, grâce à la rationalisation préalable de la filière numérique, à un groupe projet respectant les équilibres métiers, interfaces et supports.

Dans l'automobile allemande, les premières MNU ont été chez Mercedes, Volvo, BMW, Chrysler en 1990-1995. La démarche de BMW a été autoritaire et "violente". La maquette a joué un rôle dans la création des prototypes en évitant les erreurs : construire en virtuel permet de s'affranchir du prototype physique, améliore la relation entre la finesse du détail et le coût du travail, même si la virtualisation est insuffisante. Elle permet, par exemple, un « design in context » chez Bombardier et BMW, du prototypage en "permanence" et pas seulement à une étape précise et favorise la dynamique de groupe chez BMW. Son utilisation délivre quelques enseignements en terme d'analyse des valeurs dans le développement de logiciels standards entre allemands, le rôle de la pertinence, le rôle de la masse critique, des outils de compatibilité informatique et métiers, par exemple chez CATIA Knowledge Ware (surfaces définies en double etc. et vérification de la qualité sémantique des modèles). A noter : la modélisation des interdépendances prend plus de place que la modélisation des objets. Enfin, la maquette constitue en Allemagne un phénomène de groupes interindustriels différents.

	L1 - Modèle global	Page 150 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

2.3 Mise en place de la maquette

Choix du logiciel

La première étape est le choix du logiciel. Pour AIRBUS, le dilemme s'est porté entre CADD5 et CATIA. CADD5 était plus approprié au processus paneaux utilisé à l'époque. Il a été finalement choisi, étant utilisé Rolls-Royce. Le deal fixé a été le suivant : des fonctionnalités demandées, un délai de développement et une obligation de benchmarking permanent. CATIA avait une bonne cinématique pour l'aéronautique. Quant à PROENGINEER, il est paramétrique, utilisé par Toyota et l'automobile allemande. Le logiciel "maison" d'Aérospatiale a été abandonné.

Chez AKER, il faut rappeler un peu d'histoire : il y a trente ans le travail se faisait en 3D sur maquette au 1/20 puis on recopiait sur des plans 2D... Ensuite il y a eu une approche par TRIBON (pour la coque) et CADD5 pour l'armement (PDS ou PDMS), d'abord en zones techniques avec PDS (zones de très peu de volume, très contraintes mais avec peu d'intervenants) puis en zones d'emménagement (avec de très grands volumes mais de très nombreux intervenants) avec des difficultés de coordination et l'utilisation d'un logiciel de GDT pour la gestion formelle des modifications. Actuellement, la coque est Tribon ; l'emménagement est MicroStation ; la technique est PDS et on gère les interfaces.

Chez DCNS, on utilise CAD5 (outil étrave ES), un outil PLM mais avec des développements pour permettre des extractions plus aisées sans consommer trop de ressources, des schémas Sivilis valables en HVAC et en électricité qui vont jusqu'au bornage, des outils d'échange en XML et UEL développés en interne, des visualiseurs, OPX2 pour la planification des tâches et les opérations lors de simulation de fonctionnement en réalité virtuelle. AREVI et VIRTOOLS sont intégrés depuis à CATIA. PTC DV Mockup sont utilisés pour les transferts de CADD5 v5 en revues techniques ; VIRTOOLS pour les revues client au format VRNM avec textures etc. on utilise enfin des outils ad hoc aussi pour permettre les déplacements d'objets, la mise en place d'intervenants etc. il y a des salles de réalité virtuelle à Lorient et bientôt à Cherbourg. Il existe un partenariat avec Laval et Brest. Avec des clusters de 10 pc et vision stéréoscopique par projection des deux images g et d en alternance et visions de même. Il y a enfin des salles en projection directe et aussi en rétroprojection, ce qui est meilleur pour l'interactivité (évitement de l'ombre portée). Le coût avoisine 750 k€. Les balises et le tracking sont utilisés pour le suivi temps réel de la position de l'opérateur, voire de la position de la main de l'opérateur. De ce fait, l'image est correcte pour le seul opérateur. Il est possible d'archiver des scènes.

Rôle du mode de conception

Pour les avions, chez Airbus : le travail se fait par sections selon le schéma suivant : définition de la mission, modulation selon les variantes commerciales d'aménagement, formes en plan, moteurs, dessin des parties chaudes, dessin des parties froides, intégration du motoriste tôt dans le cycle. Soit une conception sur un temps long de 6 à 7 ans.

Chez Dassault, pour le drone, il y a eu 3 révolutions. Il a fallu d'abord intégrer la géométrie et les systèmes pour une maquette mixte, puis permettre un accès léger aux données par le web avec réplique des données en local et enfin intégrer complètement le processus depuis la conception jusqu'à l'exploitation. Les données sont gérées au niveau de l'objet et non au niveau de la géométrie.

Pour les bateaux, chez AKER, intégrer diverses fonctions dans un volume restreint est la tâche de base. Il faut une gestion globale du processus d'études. Cela implique de définir des points de rencontre préprogrammés où tout le monde se met d'accord parce qu'entre deux les gens divergent. La gestion des fichiers : CAO vs DAO est une question qui renvoie à celle de nomenclature. Un fichier décrit une fonction, une partie géographique, une partie de montage. L'intégration était assez simple en zone technique mais elle était beaucoup plus compliquée en zone emménagement car il y a de 250 à 500 dessinateurs ! Il faut alors introduire la gestion de fichiers avec une maquette organisée en couches pour arriver au plan de synthèse. Teamcenter de Metaphase permet la création d'un centre de compétences de gestion de données techniques.

L'approche se fait selon trois vues : la vue fonctionnelle quasi invariante même d'un projet à l'autre pour le ballastage, la ventilation et la conduite du navire ; la vue géographique quasi stable après la commande pour le nombre de ponts et le nombre de locaux. La vue de montage modifiée au fur et à mesure de l'industrialisation. Les modifications sont définies selon les trois vues suite à des erreurs ou à des améliorations demandées par le client. Au début, elles ne sont pas gérées car elles sont trop nombreuses et du fait de la maturité insuffisante du produit. Ensuite, elles sont gérées formellement (stade appelé confirmé). Il y a quelques dizaines de milliers de modifications à gérer.

	L1 - Modèle global	Page 151 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

Annexe 2 : Synthèse des benchmarks

Pour les équipements des sous traitants, les sous traitants études doivent utiliser MicroStation. Les autres sous traitants utilisent leurs outils CAO, et nous intégrons les données nous-mêmes dans la MN. Depuis l'introduction de la gestion des variantes de navires, nous donnons accès aux fichiers de CAO via TeamCenter. D'où l'importance de la logique de gestion des fichiers. En effet, une maquette de MicroStation c'est : 200000 niveaux, dans 7000 fichiers par 250 concepteurs. Un concepteur gère 30 fichiers et 800 niveaux, étant entendu que le niveau c'est le calque et la couche. En ce qui concerne les nomenclatures, il n'en existe aucune au niveau général. Il y en a une très globale de découpage du navire et des très détaillées par zones du navire.

Pour les fonctions et l'intégration des schémas fonctionnels : il y a des schémas topo-fonctionnels en cas de dépendance de la géométrie pour la fonction (exemple : la collecte en emménagement), les fonctions d'intégration font des préallocations d'espaces puis des allocations de plus en plus fines. Enfin, les processus d'interfaces sont pour des documents spécifiques de gestion. Les simulations, quant à elles, se font hors maquette sur des données périodiquement extraites de la maquette.

Chez DCNS, la MN n'est pas logique parce qu'on y gère les exigences. Mais on peut y gérer les performances de manutention, de déplacements, d'ergonomie des postes, de la maintenance (exemple de la plage avant pour les manipulations d'arrimage). L'emménagement exige d'abord de disposer des équipements dans un espace selon leurs dimensionnements d'encombrement et de manipulation. Pour cela, des moteurs d'inférence sont développés pour détecter les conflits et d'autres pour détecter les conflits de manipulation des objets avec un volume enveloppe. L'emménagement exige aussi de diviser le navire en tranches-ponts (env. 10x10m) : 15 personnes sur une zone.

L'équipe structures fait un modèle de la structure détaillée jusqu'aux goussets, des schémas 2D fonctionnels (avec une schématique faite en 2D objet et les schémas précisent si une implantation est obligatoire dans un local ou dans une zone etc.). Elle dispose d'une bibliothèque des matériels (le routage consiste à placer les équipements à partir de la bibliothèque). Des règles de priorité sont déterminées pour les tuyaux : du plus grand diamètre depuis le fond, du général au particulier, les réseaux gravitaires sur les autres. Il y a des revues hebdomadaires devant la maquette mais pas de sous répartition de l'espace ni de simultanéité en temps réel entre les fonctionnels et les emménageurs.

Par ailleurs, il y a double référencement : dans la maquette et dans la schématique lors de revues, d'édition de journaux des configurations différentielles, ce qui permet d'identifier si les modifications de l'un ont bien été prises en comptes par l'autre. Il existe des messages d'alerte en ligne et des messages lors des revues. Pour la gestion des interfaces : pour chaque cloison etc. un responsable contacte tous les intervenants.

Enfin, il y a remise - par chaque équipe - au modèle commun de "racine" biquotidienne : l'outil de gestion des interférences tourne à chaque fois et identifie les « conflits ». Il y a nécessité de classifier les conflits pour ne retenir que ceux à traiter réellement auxquels un numéro est remis. Les transferts se font de la façon suivante : les revues de transfert servent à figer les études même si certains éléments peuvent être non figés (en fait la gestion se fait directement sur les objets).

Les transferts se font par zones vers la production. Il y a encore deux maquettes : l'une de conception, l'autre d'utilisation avec visualisation, extraction de plans, de coupes etc. ce qui nécessite de faire des rapports. La maquette de 4ème génération inclut des objets métiers : elle dépasse les composants de CADS (exemple des pompes et des tuyaux et exemple du carlingage).

Les "as-built", pourtant a priori fort utiles dans les séries, sont assez peu pratiqués. En fait il existe un certain degré de liberté pour les monteurs au niveau des plus petits réseaux et tuyaux. Pour la mise en production, un outil de GPAO est en cours de développement chaînant maquette et planning de réalisation. Il y a séparation des objets de gestion des projets et des dates d'une part et gestion des données techniques et produits d'autre part ; la gestion des approvisionnements est faite par ailleurs. Mais il y a possibilité d'indexer par jalons ou par dates les données techniques. Enfin, il y a deux niveaux d'outils CAO : l'outil environnement métier et l'outil environnement de partage.

	L1 - Modèle global	Page 152 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

Le déploiement de la MN

Résumé du déploiement de la MN chez les industriels objet du benchmark :

- Pour Airbus : Trois équipes nationales, trois chefs de projet, 100 personnes et un Steering Committee. L'Allemagne rechigne ; l'Angleterre et la France adoptent. L'investissement est de 100 MUSD sur 1995-2000.
- Chez Aker, pour l'intégration d'un nouveau logiciel avec toutes ses fonctionnalités il faut compter 5 années de r&d appliquée et d'introduction incrémentale et tests, six mois pour gestion des modifications, un an pour la gestion documentaire, un an et demi pour la gestion des fichiers mais trois ans pour changer les mentalités. Il faut jouer de la dynamique des jeunes ingénieurs qui innovent et de l'expérience des anciens qui balisent le parcours.
- Chez DCNS, il faut mettre en place une politique du changement du 2D à la 3D et instaurer le travail collaboratif.
- Chez Dassault, le déploiement de CATIA est imposé à tous les intervenants de rang 1 avec des droits prédéterminés.

À mentionner : quelques difficultés. Chez Airbus, par exemple, du fait du passage de quelques personnes éclairées pour les expériences pilotes à plusieurs centaines de personnes pour les grands projets. Il faut gérer le rôle de l'expert. Auparavant, on regardait par dessus l'épaule du dessinateur. On doit retrouver un rôle à redéfinir dans les fiches de poste, redéfinir les métiers, travail qui a pris deux ans ! il faut prendre en compte le rôle des "formes mouillées" qui définissent les coefficients aérodynamiques sur lesquelles on ne revient plus en production. Il y a aussi nécessité de détecter les poches de résistance au nouveau process comme lors de la découverte totale du nouveau système par les Allemands en 2000 lors de l'A380 ou lors de la faillite de ComputerVision en 1998, reprise mais en redirigeant sur ProEngineer, ce qui a entraîné la réouverture du choix et le choix de CATIA, CATIA V4 par les allemands sans bénéfice des travaux antérieurs. Il y a maintien de CADDs avant passage à CATIA V5 pour les autres.

Des recommandations formulées par les interlocuteurs

Pour **Airbus**, il y a nécessité de faire des choix. Il faut se garder de la sur-complexification comme le chemin de câble "englobant" ou "câble à câble" (choix des allemands). Il faut se garder de préciser tous les détails qui sont souvent inutiles alors que déjà la maquette "bouge" tout le temps.

La maquette est un fabuleux partage pour la production et un gain très fort pour les préparateurs. Elle offre une représentation-simulation de l'avion sous toutes ses configurations, une simulation mécanique des déformations de l'avion au sol sans carburant, avec carburant, de l'avion en vol avec le maintien des informations pour toutes les phases de maintien en exploitation des avions. Airbus pense ainsi en faire une *a posteriori* pour l'A320 ! Elle permet le partage des outils informatiques fournis aux sous-traitants et les outils de maillage sont partagés.

Au demeurant, plus que le logiciel de CAO c'est la gestion en configuration des données qui compte. Le "as built" est nécessaire (tel que manufacturé par les usines...) mais CATIA n'est pas très bon en gestion des modifications (ils utilisent Windshield, outil de gestion des modifications, de PTC qui a des passerelles avec CATIA). Il existe une procédure de gels des phases : les équipes font des films et des vues figées. Quelques manques : Si la CAO est paramétrique plus que de simple dessin, alors les modifications ne peuvent être faites que par le partenaire en question car le reverse-engineering est quasiment impossible. La fonction qui existait en 2D pour saisir des informations de mise en œuvre etc. n'existe pas toujours en 3D. Il faut veiller à lui trouver un substitut. D'où l'utilité de pilotage par l'aval ! Avec balisage de l'autonomie de conception. À noter : le passage simultané entre ingénierie concurrente et MNU.

Chez **PSA**, les mérites de la maquette sont les suivants : un langage commun avec les fournisseurs, la mise en place de niveaux d'accès variés de simple (simple visu) à beaucoup plus compliqué.

Les limites sont les suivantes : nécessité d'encadrer la relation de co-conception et le manque de souplesse dans la qualification des pièces selon la maturité. Il faut aussi veiller à la coordination entre deux modes de culture et les contrats. L'organisation se fait par essai erreur et nécessite de nombreuses réorganisations.

Il faut noter enfin dans l'automobile le rôle de la tête de file plus ou moins naturelle dans l'industrie qui peut alors s'imposer très fortement y compris avec des pénalités. Il faut aussi passer de jalons de produits faits pour la maquette physique à des représentations de plus en plus précises pour la MN.

	L1 - Modèle global	Page 153 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

Les avantages de la MNU exprimés directement

Chez Dassault Aviation, la conception concourante suit tout le développement. Pour la fabrication : elle permet une génération simple des séquences de fabrication, la transmission électronique des modèles de fabrication, une aide à la conception des outils et bâtis temporaires. PLM : maintenance par un opérateur humain avec simulation de la maintenance et simulation de l'utilisateur, d'où des gains.

Pour DCNS : la maquette économise 17% du coût de la structure du navire du fait de l'évitement de la reprise des tuyaux qui était de 100% sur certains navires ! et qui est tombé à 30% sur le premier d'une série puis à 15% sur les suivants.

2.4 Utilisation de la maquette

Chez Airbus

La Conception-architecture générale se décline en allocation des tâches. Pour la France : l'assemblage, la pointe et le tronçon central. Pour l'Allemagne : la cabine et le fuselage. Pour l'UK : la voilure. Pour l'Espagne : la dérive verticale. Elle se décline aussi en niveaux de maturité : 0 coordination ; 1 structure et architecture de systèmes ; 2 application des systèmes dans les sections (tous les circuits sont triplés). Elle se décline encore en maîtres d'œuvre par système : architecture système, hydraulique, électrique, air conditionné. La MNU sert à structurer et à architecturer les systèmes entre eux, selon un double découpage : industriel > spatial et fonctionnel > étude, a priori, semble-t-il, là où s'est logé la "déficience". Quelques chiffres sur un A 380 : 500 000 pièces élémentaires hors quincaillerie ! et 500 km de câbles.

Il y a trois phases : la phase préliminaire sans MNU avec une première boucle de calcul (Nastran pour les calculs préliminaires). Le découpage par morceaux est à peine abordé. En phase APS, il y a une équipe multi-métiers (30 personnes et architectes, mais pas de plateau). La deuxième phase est la Master géométrie qui travaille sur la forme générale, les masses critiques, la maquette simplifiée et quelques détails de pièces sensibles (4 ans à l'avance). La troisième phase est celle de la conception de détail avec toute la géométrie détaillée des pièces, des dizaines de cas de charge, le calcul en 3D sur la MNU (mais le plus souvent par sous-ensemble et par un logiciel de calcul "maison"). Les sous-traitants repartent chez eux, les accès sont limités. Il existe alors plusieurs MNU (3 selon les détails) mais CATIA est imposé.


La terminologie est la suivante : Faisabilité : Master Geometry ; Concept : Design Principles ; Definition : Space Allocation Mock up ; Développement : Frontier Model et Geometric Reference mock up.

Fonctionnement des sections : les groupes multi-métiers font tout au niveau d'une section. En phase 2 "géométrie" 6 à 800 personnes sont sur un même plateau physique et ont tous accès à l'ensemble de la MN. Lors de l'assemblage : couture orbitale et raccordement des tuyauteries avec 1m de jeu de part et d'autre. L'étude des coûts se fait sur un logiciel totalement déconnecté. L'organisation en niveau de partenariat : le premier niveau est autonome sur les variantes d'éléments. Il y un avenant contractuel seulement en cas de modification majeure.

Dans la fabrication, le rôle du DMUI digital Mock up integrator est le suivant : il faut constater que la MNU est trop complexe pour les habitudes des personnels de production. Il y a donc nécessité d'un nouveau métier d'interface avec d'une part les objectifs suivants : préparer la production, aider au process planning, aider les personnels, mettre les métiers au même niveau d'information, anticiper les problèmes au montage et communiquer les problèmes de montage par des vues de simulation au bureau d'études. Et avec d'autre part les fonctions suivantes : revues, simulation d'assemblage, simulation d'ergonomie, outillage et les interférences produits et process. Par ailleurs, au niveau de la fabrication, la MNU conception est insuffisante pour identifier tous les problèmes de production. À noter : la vue « manufacturing » n'est pas souhaitable car elle n'a pas à être validée (cette vue doit être indépendante). En effet, les outils de gestion de la production ne sont pas encore connectables. L'utilisation de Dvise est la suivante : 180 000 fichiers en visualisation. La simulation est utile pour la formation des opérateurs monteurs et pour la fabrication des pièces de liaisons (par exemple fuselage ailes) qui ont besoin d'un ajustement au millimètre!

Chez Dassault

La dynamique de l'offre et de la demande d'informations est permanente au sein des équipes projets.

	L1 - Modèle global	Page 154 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

Chez DCNS

La maquette joue un rôle dans la production, dans la réalité virtuelle de la simulation du fonctionnement et au niveau des métiers et compétences.

Tout d'abord, sur le chantier en production, il y a des visualiseurs mais encore beaucoup de plans. La production dispose de tout son matériel avant de pouvoir aller sur place pour être sûr de pouvoir travailler ; elle travaille sur des parties de fichiers ou sur des parties transférées de la maquette et fait ses lots de préparation et d'approvisionnement.

Ensuite, en ce qui concerne la réalité virtuelle - simulation du fonctionnement, l'exemple des vols sur les porte-avions est intéressant. Il y a des tâches élémentaires exécutées par plusieurs agents qui sont nombreux et font des actions prédéterminées selon les interactions entre eux. Il y a également l'intervention d'aléas auto générés ou sur intervention de l'opérateur avec un réalisme très fort de la vision stéréoscopique. Cela sert à valider les performances opérationnelles de base du porte-avions lanceurs d'avions ! L'objectif est de leurrer l'opérateur d'un point de vue visuel d'abord puis sonore ensuite pour stimuler le retour d'efforts lors de la simulation de l'impact d'un équipement avec un obstacle lors de son déplacement.

Les dimensions essentielles de la réalité virtuelle sont l'immersion, l'interactivité et le temps réel. Il faut une semaine de travail pour le passage voire deux en cas de recherche de textures etc. quelquefois, cela aboutit à des simplifications de la maquette pour diminuer le nombre de polynômes et tout le navire n'y passe pas, mais seulement la passerelle, les systèmes de combat, la salle opérationnelle, les lieux de manœuvres essentielles, l'envol sur porte-avions et la plage avant. La réalité virtuelle permet aussi une mise au même niveau d'information pour tous quelle que soit la culture technique d'origine. Elle répond à quatre critères de qualité : la vue fonctionnelle à partir des opérateurs, la vue d'emménagement pour les objets, les réseaux et les circulations des hommes, la vue d'ergonomie qui concerne l'accessibilité aux postes et la communication entre opérateurs, vue de maintenance pour l'accessibilité et le démontage. L'interactivité est assurée avec la possibilité de déplacer les objets en temps réel et la nécessité d'enregistrer les mouvements réels des personnes.

Enfin, en ce qui concerne les métiers et les compétences : pour l'ingénieur, les calculs sont compliqués. Il doit prendre en compte les besoins des clients, les traduire en exigences et définir les systèmes. Le technicien a à prendre en compte, lui aussi, des calculs compliqués, une schématique, la traduction en objets physiques et à renseigner les bases de données. Le projeteur a des calculs simples et le dessinateur est chargé de la modélisation graphique.

2.5 Validation et accès**Chez Airbus**

Les revues sont hebdomadaires ou tous les 15 jours. Il faut les préparer soigneusement pour détecter des conflits, pour vérifier les solutions aux anciens conflits, pour l'étude des nouveaux conflits avec deux rôles fondamentaux, celui du chasseur de conception erronée et celui de l'intégrateur. C'est là que se prend la décision de qui doit modifier la saisie d'une vue en ligne, la saisie de qui fait quoi et quand, l'exécution par la suite avec intervention des responsables d'ingénierie en cas de difficultés ou d'impossibilité. Cela met au courant tout le monde des zones encore incertaines où il n'est pas encore utile qu'il intervienne ! Le manufacturing et le service après vente sont présents ! La sécurité, les experts et le contrôle de gestion aussi. Il y a plusieurs niveaux possibles pour les revues : par fonctions ou par sections ou groupes.

Les plans 2D en production sont nécessaires pour visualiser les informations de type tolérances ou préparation de surface (grenailage etc.). La procédure est en cours d'évolution au pied des avions pour les remplacer par des Tablet PC. Il existe des plans de montage précisant les indices de pièces et des assemblages.

La validation s'opère par items : certains sont figés et validés et deviennent des invariants ; d'autres font encore partie du "paysage" modifiable. Il y a une MN par avion en cours de construction avec mise à jour quotidienne par le manufacturing mais seul l'engineering peut faire des modifications. La maquette fait foi plus que l'avion réel. Le niveau de validation est au niveau individuel du dessinateur. Enfin, chaque opérateur, projeteur ou ingénieur, a son tampon de travaux en cours non validés en interne, et qui n'est donc pas mis à disposition de tous.

L'archivage se fait sur un triple conteneur : le premier pour les données validées, le deuxième pour les données en travaux et le troisième pour les variantes.

	L1 - Modèle global	Page 155 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

Chez DCNS

La boucle permet de décliner les exigences dans la définition des systèmes et de vérifier que les performances sont effectivement obtenues, cela implique donc le client et ce n'est pas uniquement une question de la maquette avec remontée des preuves incluant les essais. La maquette entre aussi en ligne de compte pour ce qui concerne les facturations intermédiaires avec le client. Elle fonctionne sur une mode itératif. Il faut noter le rôle des revues périodiques et des simulations en réalité virtuelle documentées par écrit et en images, intégrées dans la gestion électronique des documents qui progressent en niveau de détail.

Les validations, même avec Bureau Veritas, se font sur plans 2D, en étant obligé parfois de définir trop tôt des éléments inutiles à ce stade mais qui sont jugés indispensables par les contrôles. Il y a des difficultés de sortir des plans 2D. Les validations sont davantage validations de fonctions ou de modes de fonctionnement que d'objets.

Chez Aker

La question de la qualité ne conduit pas à une vérification au quotidien sinon ce serait trop bloquant. On fait des "commandos" qualité car une maquette c'est 65 Giga-octets ! Et le mode fichier ne marche pas et on doit passer au mode objet. Le plan ne sera utilisé que pour des tirages, des vues très spécifiques de parties de la maquette avec des parties validées et d'autres non ; les livrables au client sont des plans et non pas une maquette¹⁴.

À noter : la maquette est figée alors que des développements de conception ; sur des fichiers et des plans, ne sont pas encore intégrés dans la maquette. L'intégrateur travaille par paquets et valide alors tout un ensemble de modifications. Les fichiers de référence sont mis à jour toutes les semaines pour le nouveau travail de la semaine suivante ce qui implique la notion de jalons.

¹⁴ Nota pour Technip : ceux-ci ont à livrer des maquettes et non plus des plans.

	L1 - Modèle global	Page 156 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

3. Une première analyse

3.1 Avantages et création de valeurs

Concurrentiel

La question est vitale car ne pas y être c'est perdre pied définitivement. Voir le cas d'Aker.

Économique

Il y a un gain sur l'activité même de conception pour tous les interlocuteurs. C'est un moyen d'éviter, de façon quasi-récurrente, les essais et les prototypages dans l'automobile et chez DCNS.

Pour tous, le gain sur la production se réalise par l'anticipation des problèmes dès la conception et par l'élimination des erreurs de conception. Le gain existe aussi de par l'anticipation des préparations de chantier et approvisionnement chez DCNS et chez Aker. Il se réalise également par la préparation d'outils de montage chez Dassault, par la fabrication des pièces de connexion chez Airbus ; par le gain sur l'exploitation et la maintenance chez DCNS et en unifiant les outils d'entreprise et en optimisant les charges et les ressources sur plusieurs sites de production et de conception chez DCNS.

Qualitatif

La qualité est améliorée du fait des simulations plus aisées et systématiques chez tous.

Humain

Les compétences sont revalorisées. L'attractivité est plus forte auprès des jeunes. Il y a création d'une dynamique d'échanges dans l'automobile et la formation des intervenants chez Airbus.

Professionnel

Il y a introduction d'une dynamique collective professionnelle dans l'automobile en Allemagne, une force plus grande vis à vis des éditeurs dans l'automobile en Allemagne. AKER espère d'ailleurs beaucoup de la création d'une action collective avec le secteur du bâtiment.

3.2 Les axes des causes de divergence

De façon à préparer l'analyse et les transpositions d'un secteur à l'autre, les causes de divergences entre les divers secteurs sont analysées ci-dessous.

Les intervenants entreprises

Cela va de pair avec la complexité fonctionnelle des objets qui sont peu nombreux en génie civil. Ils sont plus nombreux en bâtiment, très nombreux en navire de combat, en aéronautique. Dans les faits, cela ne semble pas avoir joué un grand rôle et tous ont une vision complexe de leurs intervenants. On note une tendance à les réduire en fonction des nécessités de long terme : série et maintenance ou cycle de vie. C'est là un processus indépendant de l'existence d'une MN ou non. Tous font appel à de nombreux sous-traitants et fournisseurs.

Les intervenants personnels

C'est là un paramètre qui s'analyse de la même façon que celui relatif à la taille de l'objet et à sa complexité.

La masse des données

Elle est très forte (plusieurs millions) en nombre de pièces pour l'aéronautique et la construction navale. Des "pièces" sont banalisées et décomposées pour les besoins de la production comme la coque ou l'enveloppe. La masse des données est intermédiaire dans l'automobile, sans doute plus faible en génie civil où beaucoup de "pièces" sont banalisées et décomposées pour les besoins de la production comme les murs, les voussoirs, les couches des routes, les bordures etc.

	L1 - Modèle global	Page 157 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

La contrainte systémique

Elle est très forte en aéronautique et construction navale du fait de l'encombrement et de la masse. Elle impose un équilibre entre dimensions antagonistes, et apporte une très grande valeur ajoutée concomitante au gain de poids et d'encombrement. Elle s'introduit aussi au niveau du cycle de vie et de maintenance. Les "as built" sont assez peu pratiqués et commencent en construction navale (cas de la DCNS en particulier).

Elle est un peu moins forte sans doute dans la construction automobile, plus faible dans le BTP mais la contrainte liée à l'environnement en tient peut-être lieu¹⁵. Elle est un peu plus forte sans doute dans les bâtiments à fonctionnalités élevées qu'elle ne l'est dans le génie civil. En fait, la coque et les formes extérieures profilées des navires et des avions jouent le rôle des contraintes géométriques en bâtiment dans un contexte urbain donné qui contraignent tous les découpages en modules qui ne sont jamais standards.

Le prototype série

Les automobiles sont produites en très grande série ; les avions sont produits en série ; les navires sont tous des prototypes ou de petites séries ; dans le BTP, ce sont tous des prototypes. Le degré de répétitivité des composants est très élevé sur un même projet en construction automobile du fait de la production en grande série mais alors il n'y a pas de capitalisation de bibliothèque de projets à projet. Il est faible dans la construction navale mais il y a une recherche d'une répétitivité (bibliothèque) d'un projet sur l'autre. Il est faible dans le BTP mais il y a recherche de composants banalisés qui se répètent sur une même opération.

La complexification du processus de production

Elle est très grande pour la construction navale qui a des niveaux très hiérarchisés de préfabrifications d'éléments puis de blocs comme c'est le cas chez Aker qui a des moyens très lourds de production d'où un souci très grand lors du passage aux équipes productives et à la vue production (également simultanéité des études et de la production). Le BTP et la construction navale ont un fort élément de préfabrication en séries. Dans le BTP, le niveau de complexité est plutôt géré par la latitude laissée aux intervenants de production eux-mêmes. Pour tous, l'atelier est l'objet en cours de construction sauf pour l'automobile.

Le parallélisme entre conception et production

La conception et la production sont menées de pair dans le BTP et dans la construction navale. La conception et la production sont séparées dans le temps (sauf variantes et versions) dans l'automobile. La mise en parallélisme est limitée dans l'aéronautique.

L'environnement

L'environnement d'évolution physique est libre pour l'aéronautique, la construction navale et l'automobile. Pour le BTP l'environnement physique est très contraignant et non contrôlé, il faut considérer la problématique d'insertion locale dans un environnement spécifique et en interactivité.

La tête de file

Elle est naturelle dans l'aéronautique, l'automobile et dans la construction navale. Elle relève d'une structuration "démocratique" ou multipolaire (MOA, MOE, coordinateur de programmes, coordinateur sécurité, contrôle, constructeur, sous-traitants, cotraitants...) dans le BTP.

La taille du marché pour les éditeurs

L'automobile et l'aéronautique sont des clients majeurs pour les éditeurs de logiciel. Par contre, le BTP et la construction navale sont dans des positions de suiveurs.

La variété des objets

Elle est limitée pour l'aéronautique et la construction navale qui présentent tous une spécialisation assez étroite des objets à fonctions ciblées. Elle est très grande dans le BTP qui a de nombreux objets de fonctionnement très différents et sans grand besoin d'"armement" pour assurer un fonctionnement.

¹⁵ Au contraire des constructions navales ou aéronautiques, le génie civil est même un domaine où la masse est un facteur recherché pour la stabilité procurée !

	L1 - Modèle global	Page 158 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

3.3 Les invariants de la conception

- 1 L'ingénierie concourante : Il s'agit de faire progresser la définition de tous les métiers en même temps.
- 2 Pour le client et l'utilisateur : Il faut prendre en compte ses besoins et l'associer à la conception et à la validation des fonctionnements.
- 3 La conduite du processus par l'intégration ou synthèse se fait en liaison directe avec la contrainte systémique propre à l'industrie.
- 4 Le processus se déroule en phases : Des phases amont d'approche jusqu'à décision de lancement d'un programme (i.e. un client qui décide d'une commande ou obtention de suffisamment de prospects pour que l'entreprise investisse). Puis, une phase de conception initiale permettant des interfaces détaillées entre systèmes et zones géographiques et le lancement de la production. Enfin, une phase de production avec éventuellement conception simultanée et prise en compte des démarches de préparation de la production.
- 5 L'analyse du processus en vues : La vue fonctionnelle. La vue géographique. La vue de production. Éventuellement les vues d'exploitation ou des fonctionnements essentiels.

3.4 Les invariants de la MN

- 1 Elle est le lieu de la synthèse et de l'intégration
- 2 La validation se fait "au fil de l'eau" du fait de l'intégration
- 3 Des validations périodiques étendues ou avec clients : La gestion des modifications passe de l'informel et sans gestion au début à un processus de plus en plus formalisé. Les validations sont partielles.
- 4 Elle engage un processus de changement culturel majeur
- 5 Elle implique de nouvelles compétences : Avec le renforcement des intégrateurs, la vérification de la cohérence et de la compatibilité des données selon règles sémantique métier et informatique. Les interdépendances prennent une importance plus grande que les objets eux-mêmes. Cela nécessite un métier d'interface entre la conception et la production qui rend les outils de conception accessibles aux intervenants de montage. Voir le cas d'Airbus.
- 6 Elle implique la redéfinition des compétences : Avec la codification assez serrée des interventions de chacun dessinateur, projeteur, technicien, ingénieur. Avec des modes d'intervention, en particulier des experts, redéfinis et des coordinateurs de zones.
- 7 Elle implique un découpage géographique : Le travail se fait par zones (emménagements et réseaux). Il faut souligner l'importance d'une gestion des interfaces qui est cadrée dès le début des phases de conception.
- 8 Elle nécessite un choix éclairé du niveau de détail.

3.5 Les invariants du processus de changement

- 1 Le processus implique une démarche volontaire.
- 2 Il implique une démarche incrémentale : Il faut décomposer en projets identifiés et faire de la R&D.
- 3 Il implique une démarche de communication.
- 4 Il implique encore une démarche d'accompagnement qui est nécessaire pour le passage 2D à 3D ; pour le passage au collaboratif, pour le passage à l'objet, les nomenclatures, les données au delà de la géométrie.
- 5 Il impose la nécessité de la simultanéité des progrès entre les diverses populations
- 6 Il impose encore la nécessité de penser et mettre en place des solutions d'interopérabilité : se doter des mêmes outils ou de passerelles ou de standards.
- 7 Il impose enfin la nécessité de redéfinir postes, organisation et compétences.
- 8 À souligner : le processus est souvent long : de dix à vingt années.

	L1 - Modèle global	Page 159 sur 160
	Livrables	Version du 10/12/2010

3.6 Les divergences de la MN

Sauf en aéronautique, il ne semble pas y avoir réellement unicité de la MN, pour les raisons suivantes :

- Les fonctions et la géométrie souvent dissociées : Le « Product Life Cycle Management » est souvent traité séparément.
- Le plus souvent, il y a juxtaposition historique mais aussi juxtaposition de processus particuliers, et aussi de l'inutilité pour ne pas trop complexifier, de plusieurs maquettes, ou parties de maquette, ou de schémas objets etc.
- Les processus de détail sont tous particuliers pour les mêmes raisons.
- le dilemme montrer - cacher, partager ou non les données est général mais est résolu différemment selon chaque culture d'origine.

3.7 Les outils de la cao

1 Suite CATIA

Les produits du plateau CATIA sont les suivants : CATIA maquette 3D. SIMULIA simulation réaliste du produit. DELMIA processus de fabrication des produits. ENOVIA gestion collaborative des produits : PLM. 3DVIA interactivité, interfaces utilisateurs. Digital Projets GEHRY Technologies : architecture. WTC.

Un exemple : la Tour Swire à Hong Kong. Avec un gain de 18 mois sur le total ou un jour par niveau ; un gain de 10% sur les seules détections de conflits; un ROI de 10 à 20 fois selon Stanford. La version V6 est annoncée avec une base de données par objet et non plus une base géométrique. Le nombre de pièces est de 20 millions pour un sous-marin, 3 à 5 millions pour un avion, 15000 pour l'auto, et dans le bâtiment c'est selon l'ouvrage. Un exemple : 20 millions de pièces pour une plate-forme pétrolière. Boeing a choisi le plateau Catia pour le 787.

- 2 Il existe de nombreux autres produits sans solution "miracle" : En effet, il y a nécessité de trouver de multiples outils dans tous les compartiments et de faire des développements maison pour toutes les inévitables spécificités.
- 3 À souligner : l'intérêt des visualiseurs
- 4 L'intérêt de la réalité virtuelle augmentée avec ses propres outils.

3.8 Les évolutions attendues dans ce domaine

- 1 **DCNS** : Augmenter la réalité virtuelle pour associer le client et l'utilisateur.
- 2 **AKER** : Autonomiser les sous-traitants de rang 1 pour bénéficier de leurs propres logiques de progrès auprès d'autres clients.
- 3 **CATIA & DASSAULT** : Faire passer l'objet en premier avant la géométrie.
- 4 **AKER, AIRBUS, DCNS** : Favoriser les modalités de passage des informations techniques à la production.
- 5 **CATIA & DASSAULT** : Donner un accès léger aux données et web.
- 6 **Tous** : Avoir des livrables de plus en plus sous forme de maquette mais sans doute jamais uniquement.
- 7 **Tous** : Favoriser des passerelles et des standards d'échange.