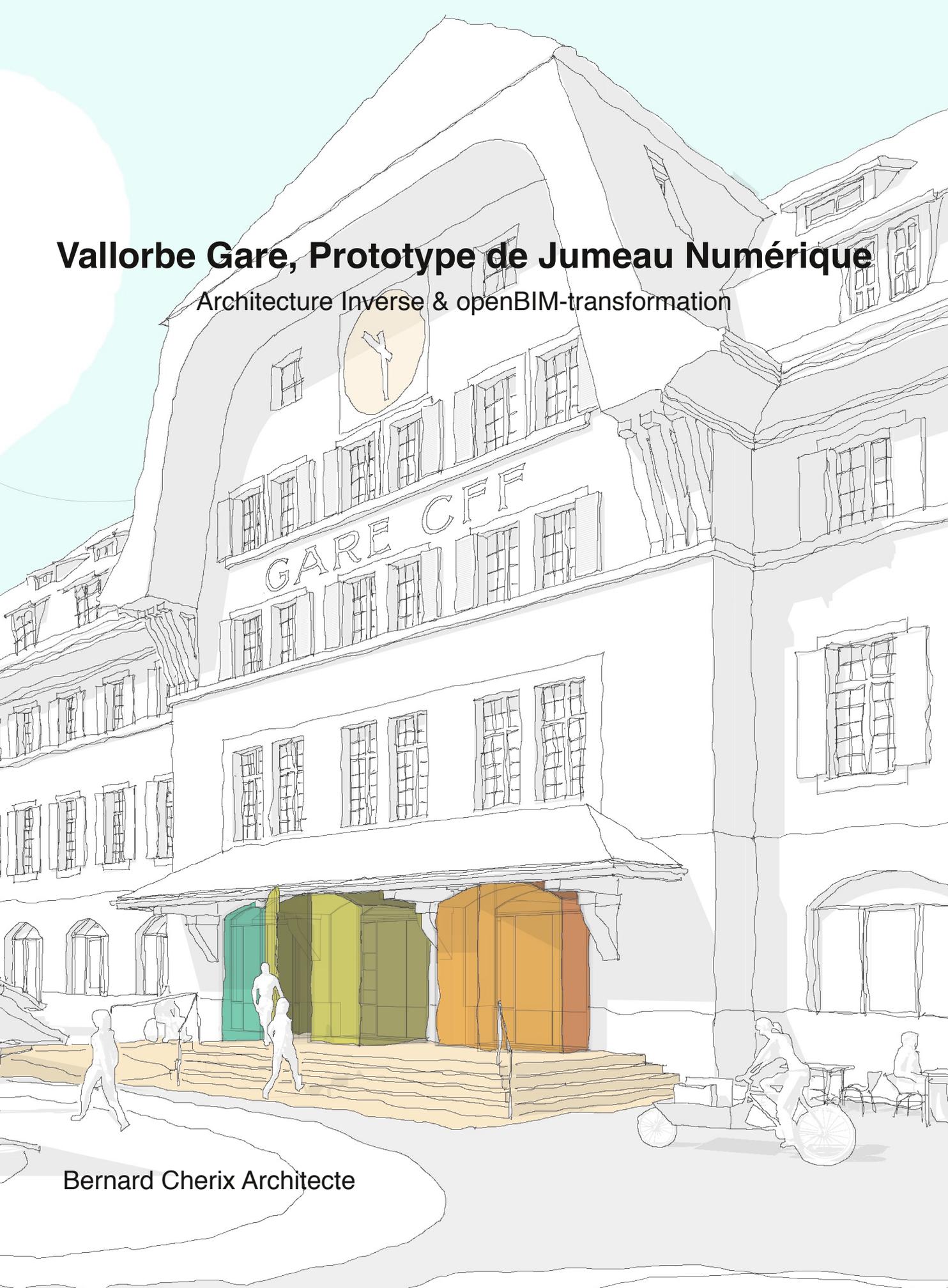


# Vallorbe Gare, Prototype de Jumeau Numérique

Architecture Inverse & openBIM-transformation



Bernard Cherix Architecte

# sommaire exécutif

## MANDANT

Programm BIM@SBB:

Billal Mahoubi, I-PJ-BIM (phases I à III)

Remy Hoehener, I-AT-KUF-SAMM-DM  
(phases I à II)

Maria Tapia, I-PJ-BIM (phase III)

## PARTENAIRES DU PROJET

Architecte: Bernard Cherix (phases I à III)

Géomatique: HEIG-VD, Dr. Bertrand

Cannelle, Arthur Mancini (phase I)

Techniques du bâtiment: Weinmann Energies,  
Joerg Meyer, Jean-Philippe Suter – GIT-CAD –  
(phase II)

## PÉRIODE

2017-2020

## OBJECTIF

L'objectif de ce projet pilote est de concevoir le **prototype de jumeau numérique d'un bâtiment complexe en formats ouverts** soit:

- en IFC selon la norme ISO 16739 pour la maquette numérique,
- en PDF selon la norme ISO 32000 pour la documentation graphique et alphanumérique
- selon la norme ISO 26300 pour les applications de bureau.

Le jumeau permet une gestion numérique du complexe et des simulations de transformations architecturales du bâtiment.

La conception du prototype **démontre le potentiel de réutilisation infinie de l'IFC pour les transformations** indépendamment des logiciels de CAO avec lesquels il a été conçu et donc la faisabilité d'un jumeau numérique pour tous les monuments historiques qui seront encore transformés durant des siècles.

Le jumeau est géoréférencé et, de ce fait, peut être intégré dans le modèle du territoire des CFF.

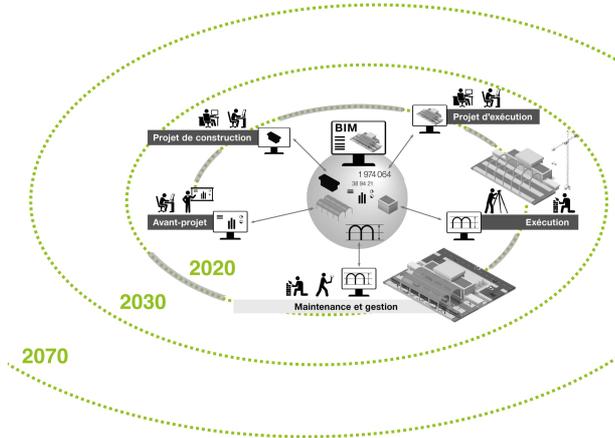
Le jumeau est constitué de deux maquettes numériques élaborées selon la méthode BIM, soit: une maquette architecture produite sur la base de relevés lasergrammétriques (*nuages de points, voir Glossaire page 265*) et une maquette des techniques du bâtiment en LOD 300. Ces maquettes sont reliées à la base de données des installations des CFF (DfA, Maximo) [LOI 500].

Ce travail comprend une procédure servant à la mise à jour des bases de données depuis la maquette des techniques lors de la mise en service de nouvelles installations ferroviaires ainsi qu'une méthode pour la modification de maquettes IFC. Ce prototype élargit le champ d'utilisation courant de l'IFC.

## BÂTIMENT RÉPLIQUÉ

Le complexe Vallorbe Gare est un **monument d'importance nationale**<sup>1)</sup> sur la ligne du Simplon-Orient-Express construit en 1913 par les architectes Taillens-Dubois. La surface utile des trois bâtiments (gare, douanes française et douane suisse) est de 8 000m<sup>2</sup>, le volume de 30 000m<sup>3</sup>.

L'utilisation actuelle du complexe inclut: la gestion du trafic ferroviaire (jusqu'en 2024), les logements, le buffet de la gare, le poste de gardes-frontières (suisse). Le pourcentage de locaux vacants ou sous-exploités après 2024 sera de 56% (90% pour le seul bâtiment des douanes). Le présent travail se situe dans le cycle de vie du bâtiment entre la maintenance et un avant-projet de transformation supposée, dans le cas d'espèce pour 2030 (*voir schéma ci-contre et page 8*).



Démonstration de réutilisation de l'IFC et donc de la pérennité des données constituant le prototype de jumeau numérique de Vallorbe Gare conçu dans le cadre de ce projet. La simulation a été effectuée depuis le jumeau de 2020 pour un projet fictif en 2030. Il pourrait être réutilisé pour une nouvelle transformation en 2070 et au delà...

## PROJET EN TROIS PHASES

### I. Architecture inverse (retro-BIM) et nuages de points par le géomètre

La phase I comprend la production d'une maquette numérique architecture IFC **géoréférencée en MN95**, comprenant le deuxième sous-sol jamais documenté, sur la base de relevés par laser- et photogrammétrie du **complexe en exploitation** (espaces intérieurs scannés: 60%).

Informations contenues dans l'IFC:

- les références de modélisation d'après les **nuages de points** ou autres (plans d'exploitation, archives...).
- l'usage et la numérotation des locaux, y compris ceux inoccupés (selon CFF IM-70014).
- les espaces accessibles aux personnes à mobilité réduite.
- les matériaux de construction des éléments constituant la maquette architecture (par exemple mur, sol...) définis selon des catégories génériques pour la modélisation **sans avoir recours à des sondages** dans le monument.

La Phase I inclut la production d'une

maquette de situation (LOD 2 SIG) basée sur les modèles swisstopo suivants: swiss-buildings3D et swissALTI3D.

### II. Intégration des techniques du bâtiment ou production du jumeau numérique de la gare

La deuxième phase concerne la récupération de la maquette architecture par les ingénieurs pour la production de maquettes techniques du bâtiment. Une plateforme collaborative en ligne constituant un environnement commun de données a été utilisée, permettant aux CFF de suivre en temps réel le développement des maquettes disciplinaires compilées.

Durant cette phase un **lien entre objets IFC des CFF et leurs bases de données** existantes (DfA, Maximo) a été créé. Cependant, les maquettes liées à la base de données constituent le jumeau numérique qui n'est modifiable que par les logiciels CAO avec lesquels il a été créé. Des solutions à ce problème seront trouvées lors de la troisième phase.

### III. Prototype d'un jumeau numérique comprenant une méthode pour usages multiples des IFC

La troisième phase comprend la conception d'un jumeau numérique avec une simulation de transformation architecturale. Elle inclut une méthode pour la réutilisation multiple des IFC intégrant l'évaluation entre IFC paramétriques ou IFC B-Rep (Boundary Representation) afin de choisir le meilleur entre les deux pour le jumeau. Une sélection d'une quarantaine d'entités sur les 653 définies par buildingSMART constitue ainsi un **catalogue d'objets IFC (entités) standard pour les phases SIA 11 à 33** pour la rédaction du «Level of Information Need» (LOIN).

Dès 2021 en Suisse, le LOIN avec le Manuel d'échange d'informations (IDM) seront utilisés par les maîtres d'ouvrage pour rédiger le cahier des charges de l'architecte.

## **sommaire**

04 sommaire exécutif

**phase I architecture inverse:**  
maquette de l'état existant

08 01. objet du projet

19 02. maquette de situation & nuages de points de la gare

27 03. production de la maquette numérique architecture LOD 200

**phase II jumeau numérique :**  
intégration des techniques du bâtiment  
& lien avec base de données CFF

39 04. définition du jumeau numérique en LOD 300

49 05. interopérabilité: caractéristiques géométriques de l'IFC

56 06. vies parallèles des jumeau et bâtiment 1913 - 2070

**phase III simulations de transformations du jumeau :**  
démonstration de réutilisation « infinie » de la maquette

62 07. exemples de simulations génériques

66 08. vallorbe gare 2030

73 09. expansion de l'IFC pour simulation de transformation

90 10. maquette projet à remettre au maître d'ouvrage

92 conclusions

## **tables & annexes**

95 phase I avec géomaticiens

131 phase II avec ingénieurs technique

181 phase III plans du prototype de jumeau transformé

**205 illustrations**

**265 glossaire et références**

# glossaire

## Âge sombre numérique

Expression dérivée des siècles obscurs ou Dark Ages en anglais et empruntée à l'historiographie; elle évoque la perte d'informations historiques à l'ère numérique résultant directement de formats de fichiers, de logiciel ou de matériel obsolète qui deviennent corrompus, rares ou inaccessibles, à mesure que les technologies évoluent et que les données se détériorent.

L'obsolescence des fichiers propriétaires est particulièrement problématique, car il peut être impossible d'écrire un logiciel approprié pour les lire. Contre cette obsolescence l'usage de logiciels dit open source et de formats ouverts normés ISO (Organisation internationale de normalisation) est une option. L'un des objectifs d'Internet Archive <<https://archive.org>> partenaire de la Digital Public Library of America est de prévenir cet âge sombre.

## Architecture inverse [Phase I].

Ou rétroconception, il s'agit de l'activité consistant à étudier un objet pour en déterminer le fonctionnement interne ou la méthode de fabrication, activité comparable à l'ingénierie inverse, mais appliquée à l'architecture.

Le principe de la rétroconception repose sur la collecte d'un nuage de points issu de la surface de l'objet à scanner en 3D.

En complément au nuage de points du géomètre, l'architecte complétera ses connaissances du bâtiment avec les modèles de terrain, si existant, des plans d'archives, des photographies (contemporaines et anciennes), des descriptifs et tout autre document pouvant lui fournir des informations pertinentes sur l'objet à «rétro-concevoir» (voir schéma page 133).

Ce nuage de points est traité par des fonctions CAO permettant la reconstruction de surfaces à partir desquelles un modèle

paramétrique est produit par l'architecte.

Cette phase peut être associée au Retro-BIM: la «modélisation rétroactive de bâtiments existants», selon swisstopo.

## Associativité [Chapitre 09].

Caractéristique d'une opération booléenne qu'effectue un objet sur un autre, devenant un objet cible. Cette opération est permanente, dans le sens que, si la géométrie de l'objet opérateur est modifiée, celle-ci s'appliquera obligatoirement sur l'objet cible, par exemple un objet fenêtre dans un objet mur: si la fenêtre est agrandie, l'ouverture dans le mur le sera automatiquement. Le mur est donc associatif avec la fenêtre.

Cette caractéristique est propre aux objets des formats propriétaires. De rares objets IFC conservent cette caractéristique dans le cas d'une publication en mode paramétrique. La publication d'IFC en mode B-Rep ne comprend en principe pas de caractéristique associative.

## Attribut [Phase III].

L'attribut est l'une des propriétés d'une entité ou l'information alphanumérique d'un objet numérique. Par exemple pour l'entité porte (IfcDoor), un des attributs est la largeur ou dans le cas d'une transformation, pour l'entité mur (IfcWall), un des attributs peut être «à démolir». Cela peut également être la représentation graphique d'une entité, dans ce cas il s'agira d'attribut graphique.

**BEM**, Building Energy Model ou Modeling<sup>49</sup>, voir aussi *Modèle de calcul*.

Modélisation des données relatives à la consommation énergétique du bâtiment, le BEM est un modèle de calcul. Les logiciels utilisés pour produire ces modèles intègrent parfois un noyau de modélisation qui permet de produire un modèle tridimensionnel

simplifié du bâtiment à simuler.

Un modèle séparé de la maquette architecture peut présenter des anomalies et ne permet pas la coordination entre ces deux entités distinctes dont les informations se retrouvent dans des silos de données séparées les unes des autres.

Un modèle énergétique peut cependant, être effectué à partir de la maquette pour autant que les logiciels CAO et BEM utilisent le même format d'échange de données. Un format propriétaire utilisé couramment pour l'échange est le gbXML.

Certains logiciels commencent à utiliser le format IFC pour le BEM, ce qui représente un premier pas vers les données liées.

**BCF** ou BIM Collaboration Format [04.2 ; 07.2].

Format de fichier ouvert qui, en tant qu'outil de communication, favorise l'échange de messages et d'exigences de changement entre les visionneuses et les logiciels de CAO. Ces fichiers de protocole peuvent s'échanger par le biais de la plateforme de projet.

**Bibliothèque d'objets** [03.1 ; 03.2 ; 04.3], voir aussi *Objet numérique et Librairie d'objets*.

Les bibliothèques des objets numériques peuvent, selon les logiciels, se trouver à trois endroits distincts.

— Intrinsèque au fichier de la maquette.

Les objets itératifs sont dans une bibliothèque intrinsèque au fichier CAO de la maquette. Le plus souvent, il s'agit d'objets paramétriques avec une géométrie complexe.

L'inconvénient de cette solution est que le poids de la bibliothèque est rajouté à celui de la maquette. Si les objets itératifs peuvent être utiles à une autre maquette numérique (e.g. un projet distinct), il devient alors pertinent d'avoir une bibliothèque dans un

fichier séparé, dans l'un des deux endroits ci-dessous.

— Local

Certains logiciels permettent la création de fichiers séparés contenant des objets constituant les maquettes numériques. Ces objets peuvent être intégrés dans la composition des maquettes. Ils peuvent se retrouver dans différents fichiers ou projets. Dans ce cas, la bibliothèque est extraite du fichier CAO pour se trouver sur l'ordinateur en local.

— Serveur (nuage informatique)

Lorsque le projet est partagé entre plusieurs personnes, qui travaillent simultanément à l'élaboration de la maquette, la bibliothèque doit être accessible à tous les acteurs. Celle-ci sera alors mise sur un serveur, tout comme le fichier CAO sur lequel travaillent les parties.

**Big BIM**, voir *Niveaux de maturité du BIM*.

**BIM et openBIM**

Building information modeling (model ou encore management), en français Modélisation d'informations de la construction (rétroacronyme selon ISO 16379:2013).

Selon la SIA, le BIM est une méthode. Elle est fondamentalement interdisciplinaire et met en relation, lors de la planification, les trois acteurs principaux : l'architecte, l'ingénieur civil et le ou les ingénieurs des techniques du bâtiment.

L'objet fondamental du BIM est la maquette numérique produite avec des logiciels de CAO correspondant aux disciplines précitées. Ces maquettes sont donc produites en format propriétaire.

Elles peuvent toutes être produites dans le même logiciel et être publiées en format propriétaire, elles seront alors dites en « closed BIM ».

Contrairement au closed BIM, l'openBIM est l'usage d'un format non propriétaire. L'IFC, pour l'échange de maquettes numériques, propre à la coordination. Le projet Vallorbe 4.0 est une expansion de cet usage pour pérenniser les données.

*Note historique: l'origine de cet acronyme remonte aux années 1970, il est lié aux travaux du Pr Charles M. Eastmann, architecte et pionnier de la modélisation paramétrique au Georgia Institute of Technology (USA). Il sera « récupéré » par la société américaine Autodesk et utilisé pour promouvoir son produit Revit racheté à Ch. River Software en 2002.*

*Néanmoins, les éditeurs de logiciels tels que Teckla (Fi), Allplan (D), PlanCal (CH) ont implémenté les notions du BIM dès les années 1980 dans les solutions propres à leurs disciplines. L'entrepreneur hongrois et fondateur de Graphisoft, Gábor Bojár, est le précurseur dans l'application du BIM. Soutenu par Steve Jobs, il a écrit le logiciel Radar sur Apple Lisa en 1984. Ce dernier deviendra ArchiCAD.*

*La promotion de BIM-Revit par un éditeur dominant le marché, a le mérite d'avoir fait réagir les acteurs historiques du marché et de les forcer à coopérer pour développer leur interopérabilité, notamment au sein de buildingSMART.*

**Bool ou Booléen**, voir *Opération booléenne*.

**B-Rep**, voir *IFC B-Rep*.

### **CAO.**

Conception assistée par ordinateur. Cela comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique. Dans le

domaine de la construction, les logiciels sont principalement utilisés pour la planification, rarement pour la fabrication (voir *FAO*).

**CDE ou Common data environment**, voir *Environment commun de données*.

**Classification** [03 ; 05.1].

Système de classement organisé et hiérarchisé de catégorisation d'objets. La maquette numérique étant constituée d'objets contenant des informations, il est donc important de structurer celles-ci pour pouvoir exploiter la maquette et effectuer des simulations.

Lorsque les systèmes de classifications sont évoqués, il s'agit généralement des classifications qui mettent en lien la maquette numérique et le plan financier. En Suisse, le CRB (Centre suisse d'études pour la rationalisation de la construction) développe avec l'eCCC une classification nationale. D'autres systèmes en Europe et dans le monde sont sur le marché depuis plusieurs années, tel que l'Uniclass au Royaume-Uni<sup>50</sup>.

**Closed BIM** [4.01].

Cela désigne un échange de données basé sur les informations qui opère au sein d'un système fermé, par exemple par le logiciel d'un seul fabricant en format natif (voir *Format de données*).

**Compilation (planification)** [02.2 ; 03.1 ; 03.4 ; 04].

Procédure dans le domaine de la planification consistant à rassembler des plans 2D ou des maquettes numériques de diverses sources en vue de faire un recueil. Ces sources sont généralement celles de l'architecte et des divers ingénieurs.

Dans ce projet, une distinction est faite entre deux actions distinctes faisant partie de la procédure de compilation: la fusion et la

fédération d'IFC.

Cette procédure fait partie de la coordination.

### **Coordination (planification) [04.2].**

Processus entre ingénieurs et architectes, ayant lieu particulièrement après avoir effectué une compilation de maquettes. La coordination consiste à optimiser les objets correspondant aux différentes disciplines.

### **DAO [01.3].**

Le dessin assisté par ordinateur (CAD computer-aided drafting) est une discipline permettant de produire des dessins techniques avec un logiciel informatique. Les dessins produits sont le plus souvent réalisés en mode vectoriel. Même s'il est possible de représenter des objets tridimensionnels en vecteurs, ceux-ci sont des modèles numériques et ne peuvent réellement contenir de l'information. La méthode BIM rend en grande partie la DAO obsolète, tout du moins en ce qui concerne la planification de bâtiments de taille moyenne (dès la catégorie III, selon SIA 102). Cela étant, les dessins de schémas et de détails seront toujours effectués en mode vectoriel. Ce mode est généralement intégré aux logiciels de CAO.

Un exemple d'obsolescence de logiciel, le développeur du logiciel de DAO AutoCAD le remplace par un nouveau produit, Revit, permettant d'appliquer la méthode BIM.

**Data extraction**, voir *extraction de données*.

### **Définition de la vue de la maquette**

**numérique** ou Model View Definition (MVD) [05 introduction], voir aussi *Traducteur d'IFC*. Définition lisible par un logiciel (tel que CAO, visionneuse) d'une demande d'échange de données, explicitement liée à un ou plusieurs formats de données standard. MVD définit le

contenu et la sémantique d'un ou plusieurs ensembles de données, par exemple pour un cœur de métier. Il doit donc être compris comme un filtre qui soustrait du texte au fichier IFC (voir aussi IFC).

Cette définition provient du « Manuel d'Echange d'Informations » (IDM) ou de standards ; pour e.g. la publication depuis la maquette architecture de celle pour l'ingénieur civil (maquette structurelle) ou de celle pour l'ingénieur sécurité (maquette sécurité feu).

**Digital twin**, voir *Jumeau numérique*.

**Données liées**, voir *Web des données*.

**Éléments ou éléments BIM**, voir *Objets BIM*.

### **Entités ou IFC Entities [05].**

Le format IFC est un « Modèle de données » basé sur le langage informatique Express et constitué d'entités. Ces entités représentent des objets structurés, organisés hiérarchiquement. Elles composent la maquette numérique et incluent les composants du bâtiment (e.g. IfcWall pour le mur, IfcDoor pour la porte, etc.), la géométrie (e.g. IfcExtrudedAreaSolid correspondant aux objets soustrayants du § 09.2) et les données fondamentales (e.g. IfcAxis1Placement pour l'origine du projet).

L'IFC comprend plusieurs centaines d'entités, notamment 653 pour l'IFC 2x3 (voir aussi Table des Entités du Jumeau Numérique Vallorbe Gare. Pages 110-115).

**Environnement de données commun** ou Common data environment (CDE) [04.2].

Source unique d'information sous forme de serveur en ligne. Elle est utilisée pour collecter, gérer et diffuser les modèles et maquettes numériques, ainsi que les

données graphiques et alphanumériques de l'ensemble du projet.

Dans la phase de planification, le CDE peut inclure une plateforme collaborative pour l'usage et la gestion du format BCF.

Cette source d'informations unique facilite la collaboration entre les membres de l'équipe de projet et évite les doubles emplois et les erreurs.

L'état français a créé un CDE dans lequel les maquettes numériques sont consultables avec des visionneuses [Op. cit. § 04.2].

Pour le jumeau numérique de Vallorbe, un environnement a été schématisé : voir page 134.

### **Expansion d'IFC** [01.1 ; 04.4 ; 09].

Pour la réalisation du prototype du jumeau numérique de Vallorbe, un nouvel usage de l'IFC a été créé. Son but premier est celui d'échanger des maquettes disciplinaires entre les planificateurs d'un projet pour effectuer la coordination. Après une publication de la maquette propriétaire en format IFC, l'échange s'effectue une fois.

L'objectif de ce projet étant de pouvoir réutiliser indéfiniment la maquette en lui faisant subir de multiples transformations au travers de plusieurs publications ou « republications », le format IFC subit donc une expansion.

**Export d'IFC**, voir *Publication d'IFC*.

### **Extraction de données** [03.4 ; 09.1]

L'extraction de données est l'acte de récupération de données à partir de sources de données en vue de leurs traitements. Concernant les maquettes numériques, l'extraction peut être des données alphanumériques, mais également graphiques. Dans ce cas il s'agit d'extraction de plans depuis la maquette.

### **FAO** (*illustration page 19*)

Le logiciel de fabrication assistée par ordinateur écrit le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier contient un modèle qui peut être produit à partir de logiciels de CAO tiers qui seront importés.

Un modèle de FAO aura le niveau de géométrie le plus élevé, donc proche du LOG 500 du BIM. Son niveau d'information (LOI) peut être nul contrairement à celui de la maquette numérique. La maquette numérique et le modèle pour la FAO sont donc distincts.

La maquette numérique de l'architecte est une représentation idéale du projet. Elle est schématique et approximative. Elle pourra cependant servir à la fabrication de maquettes tel que par impression 3D.

### **Fédérer (action appliquée sur des .IFC)**

[04.1 ; 09.3], voir aussi *Compilation*.

Dans un logiciel (principalement les visionneuses) ou sur une plateforme en ligne, il s'agit de l'action de la procédure de compilation permettant de visualiser plusieurs maquettes simultanément tel que la maquette de l'architecte et celle des ingénieurs.

Contrairement à la fusion, les IFC restent néanmoins dans des fichiers distincts ou sont compilés dans un fichier de format propriétaire.

### **Formats de données (ouvert/propriétaire)**

[01.1 ; 04 introduction].

Les formats de maquettes numériques peuvent être de deux sortes, ouvert ou propriétaire (natif).

Un format ouvert, tel que l'IFC est standardisé, il est orienté vers l'échange de données et sert l'intérêt du public. L'usage de format ouvert et standardisé ISO est une option pour archiver l'information de manière pertinente et d'éviter l'obsolescence (voir *âge sombre numérique*).

Le format propriétaire est celui propre au logiciel de CAO. Il sert l'intérêt des propriétaires, soit celui de l'éditeur du logiciel et de l'auteur des produits issus de la CAO (e.g. maquettes, plans, nomenclatures). Sa durée de vie est limitée par la mise à jour quasi annuelle des logiciels par leurs éditeurs.

Une définition claire des intérêts de chacun permet ainsi l'optimisation des processus de planification et de documentation de l'ouvrage.

### **Fusion (action appliquée sur des .IFC)**

[04.1 ; 09.3], voir aussi *Compilation*.

Dans un logiciel (principalement de CAO après une conversion), cela concerne l'action de la procédure de compilation mettant plusieurs maquettes au format IFC ensemble. Il peut s'agir d'un rajout de quelques objets mineurs dans une maquette de la même discipline ou dans les cas de fusion de maquettes disciplinaires (architectes et ingénieurs), il en résultera un seul fichier de maquettes pluridisciplinaires.

La question de la traçabilité de l'auteur des maquettes respectives peut, dans ce second cas, être importante.

Note : cette action peut conduire au problème rencontré avec l'application de la méthode du « closed BIM » évoqué au § 04.1.

### **Géoréférencement** [02.1 ; 02.3 ; 04.3 ; 05 introduction].

Le géoréférencement est le processus dans lequel on applique à une entité (e.g. une maquette numérique) un emplacement spatial en lui donnant des coordonnées géographiques. L'Office fédéral de la topographie swisstopo a deux références MN03 et MN95. À noter que la référence MN03 est obsolète et est remplacée par la MN95.

### **Géométrie exacte** voir *IFC B-Rep*.

**IFC** Classes de fondation d'industrie ou Industry Foundation Classes.

Format de fichier standardisé (norme ISO 16739) orienté objet, utilisé par l'industrie du bâtiment pour échanger et partager des informations entre logiciels. C'est un format ouvert en STEP (Standard for the Exchange of Product model data) qui existe depuis 1997. Il est géré par l'organisation internationale indépendante buildingSMART.

La version homologuée 2x3 a été utilisée pour ce projet. Quelques logiciels ont obtenu en 2019 l'homologation pour la version 4 de 2013. La version 5, qui intégrera les infrastructures est en développement notamment avec les CFF.

Les données de la maquette sont en format texte, elles sont structurées et peuvent, si besoin, être extraites partiellement. Lors de la publication en IFC on pourra extraire de la maquette propriétaire la géométrie ou l'information qui seraient pertinentes à un mandataire tiers ou pour effectuer une simulation spécifique. Des lignes de texte seront donc soustraites de l'IFC lors de sa publication depuis le logiciel de CAO, pour un besoin spécifique ou selon la « Définition de la vue de la maquette numérique » (MVD).

Pour ce faire, on fera usage de traducteurs. Ces derniers offrent de nombreuses variantes de sélection de données à publier ou non. Entre autres, deux traducteurs génériques permettent la publication d'IFC en B-Rep ou paramétriques (voir ci-dessous).

L'objectif de ce format est d'optimiser l'échange de données liées à la planification en vue de réaliser un bâtiment. Dans une certaine mesure, elles peuvent ensuite être utilisées pour la gestion de ce dernier.

(voir aussi Table des Entités du Jumeau Numérique Vallorbe gare pages 110-115).

« **IFC converti** » [09.1 ; 09.2].

Pour pouvoir exploiter un IFC B-Rep dans un logiciel de CAO, que ce soit en lecture seule, pour faire des simulations de collisions ou — comme dans le projet Vallorbe — transformer des objets, la maquette IFC doit être importée. De cet import, les logiciels vont convertir les objets composant la maquette numérique dans leurs formats propriétaires pour, soit les intégrer au fichier, soit les placer dans un dossier séparé qui servira de bibliothèque. La maquette numérique en format IFC vue depuis un logiciel de CAO est donc ici, un « IFC (B-Rep) converti » en format propriétaire.

Dans le cas d'IFC paramétrique, le processus d'import produira automatiquement des objets en format propriétaire intégré au fichier CAO. En théorie, il n'y aurait dans ce cas, pas d'« IFC converti » paramétrique, sauf que les logiciels de CAO n'ont pas intégré pleinement cette caractéristique et donc produisent des IFC hybrides (voir § 05.2 Maquette paramétrique).

**IFC B-Rep** [05 ; 09].

Boundary Representation, en anglais (Représentation par les Bords, en français).

La caractéristique de cette publication est que les objets constituant la maquette sont représentés par des polygones dont la géométrie est finie, par opposition à l'IFC paramétrique (voir ci-dessous).

Il présente l'avantage de conserver la géométrie complexe des objets qui ont été modélisés à partir de polygones ayant subi des opérations booléennes qui ne seraient pas supportées par un logiciel de CAO avec un noyau de modélisation moins performant ou différent.

Certains logiciels de CAO parviennent cependant à reconnaître les entités IFC converties lors de l'import, pour les traiter en objets paramétriques.

**IFC Paramétrique** [05], voir aussi *Paramétrique*.

La caractéristique de cette publication est que les objets constituant la maquette conservent leurs propriétés de transformation au travers des paramètres qui les définissent. Cette caractéristique, conservée d'un logiciel de CAO à un autre indépendamment de son éditeur, concerne principalement les paramètres géométriques.

Le défi du paramétrique réside dans l'interopérabilité et ce, particulièrement dans la gestion de géométrie complexe.

**IDM ou « Information Delivery Manual »** voir *Manuel d'échange d'information*.

**Image liée (de maquette numérique propriétaire) [04.3]**

Une image liée de maquette numérique propriétaire est, la « copie » d'une maquette placée dans un autre fichier. La particularité de cette copie est qu'elle est liée à l'original et n'est pas modifiable. Elle pourra cependant être mise à jour lorsque l'original aura subi une modification. Cette image liée est appelée sous-projet dans Revit et module lié dans Archicad.

**Import d'IFC** [04 ; 05], voir aussi « *IFC converti* ».

Le fichier d'une maquette IFC peut être ouvert dans un logiciel de CAO permettant la visualisation et d'effectuer certaines opérations sur celle-ci. À l'ouverture du fichier, les logiciels offrent un choix de traducteurs permettant d'optimiser l'exploitation de la maquette IFC. L'optimisation peut être la sélection d'objets à importer, le changement d'attributs, de classification...

L'import d'IFC dans un logiciel de CAO inclut la conversion en format propriétaire des objets composant la maquette.

**Interopérabilité** [05] voir aussi IFC.

Capacité que possède un logiciel à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes informatiques, existants ou futurs, sans restriction d'accès ou de mise en œuvre.

**Jumeau numérique** [Phases II & III]

Réplique numérique d'un objet ayant pour but l'analyse, la gestion des données ou les simulations.

La représentation numérique fournit à la fois les éléments et la dynamique de fonctionnement d'un dispositif de l'Internet des objets tout au long de son cycle de vie (voir schémas pages 8 et 134).

Postulat de l'équipe Vallorbe : en architecture, le jumeau numérique est composé de maquettes numériques métiers (architecture, ingénieurs), qui peuvent comprendre un lien avec des bases de données externes et avec des données SIG ou lidar (voir aussi chapitre 04 introduction).

Au-delà de la maquette numérique, de laquelle sont extraits les plans, l'exploitation du jumeau se fera au moyen de visualisations bi- ou multidimensionnelles et d'extractions de données alphanumériques.

Les données composant le jumeau numérique d'un bâtiment seront de préférence dans un environnement de données commun.

**LAS**, voir *Nuages de points*.

**Lasergrammétrie** [02] voir aussi *Nuages de points*.

Relevé par scanner laser 3D, permettant l'acquisition d'espaces ou d'objets en trois dimensions avec une précision millimétrique. Cette télédétection est appelée lidar (« light detection and ranging » ou détection et estimation de la distance par la lumière).

Le produit de cette télédétection d'objet est un nuage de points.

**Librairie d'objets en ligne** [04.3] voir aussi

Les bibliothèques d'objets des logiciels de CAO peuvent être complétées par des objets génériques ou des copies virtuelles d'objets industriels (des jumeaux numériques d'objets). Ces objets se trouvent dans des librairies en lignes. Elles peuvent être divisées en deux groupes :

– Librairies d'objets numériques.

De nombreuses librairies proposent des objets 3D, des génériques ou des jumeaux. La plupart des objets construits aujourd'hui ont été modélisés précédemment. Beaucoup de ces objets ont cependant une géométrie proche du LOG 500 et sont inexploitable. Des librairies spécifiques pour la méthode BIM proposent le plus souvent des jumeaux dans les principaux formats de logiciels de CAO de nos disciplines avec des classements par pays, tel qu'à ce jour et sans être exhaustif : Polantis <<https://www.polantis.com>> (avec également des objets génériques), BIMObject <<https://www.bimobject.com>>, <<https://www.bimandco.com>>. Au Royaume-Uni : NBS <<https://www.nationalbimlibrary.com>>, SpecifiedBy <<https://www.specifiedby.com>>, BIM Store <<https://www.bimstore.co.uk>>.

Certaines librairies d'objets sont propres à un logiciel spécifique. Elles peuvent avoir un accès payant, parfois avec un prix élevé.

Dans toutes les librairies BIM, les objets proposés sont informés ou comprennent une fiche technique.

– Catalogue de fiches techniques [voir § 04.3]

Autre type de librairies, les catalogues de fiches techniques sont à mettre en lien avec les objets de la maquette. Ils présentent l'avantage de ne pas alourdir la maquette avec des objets à la géométrie trop complexe. Ces fiches techniques peuvent

être mises en lien avec les objets propriétaires des logiciels de CAO ou avec les IFC. Certaines sont intégrées aux plateformes collaboratives telles que <<https://www.buildup.ch>>. Le catalogue de la société norvégienne Cobuilder «goBIM» devrait intégrer le catalogue Suisse du CRB.

À noter qu'actuellement, avec l'une ou l'autre librairie, une documentation complète et homogène de tous les objets constituant la maquette n'est pas possible, particulièrement dans le cas de bâtiments historiques. Spécifique aux phases d'exécution et documentations d'ouvrage, les jumeaux d'objets et les catalogues de fiches techniques ne devraient pas être utilisés en phase de projet. Pour cette raison, ils n'ont pas été traités de manière exhaustive dans ce projet.

**Lidar**, voir *Lasergrammétrie*.

**Linked data** voir *web des données*.

**Little BIM**, voir *Niveaux de maturité du BIM*.

**LOD** ou Level of Detail.

Niveau de détail d'une maquette numérique. Ce niveau se décline selon une échelle de 100 à 500, soit de la maquette projet à la maquette de la documentation d'ouvrage. Pour une demande de permis de construire, un LOD entre 250 et 300 devrait être requis. Le LOD est composé du LOG — Level of Geometry — et du LOI — Level of Information —, suivant également l'échelle de 100 à 500.

Il faut distinguer le LOD des SIG du LOD du BIM. Les SIG déclinent le LOD de 0 (pour une représentation de l'empreinte spatiale d'un bâtiment en 2D) à 3 (pour le gabarit d'un bâtiment comprenant avant-toits, chiens-assis, ouvertures...).

Les modèles de swisstopo swissbuildings3D suivent cette déclinaison.

La plateforme Bâtir digital Suisse, chapitre national de buildingSMART, associe également LOD avec Level of Development ou niveau de développement d'une maquette correspondant à l'avancée du projet vers l'exécution, soit du LOD 100 à 500.

**LOG ou Level of Geometry**, [03.2] voir aussi *LOD* et *LOI*.

Composant le niveau de détail (LOD), le LOG correspond au niveau de complexité géométrique des objets constituant la maquette.

Il se décline également de 100 à 500, par exemple le LOG 100 d'une chaudière correspond à un parallélepède rectangle, le LOG 300 à son gabarit comprenant les grosses saillies et le LOG 500 en B-Rep de l'objet. Ce degré de précision géométrique a des conséquences sur la taille du fichier (voir Polygones); sa pertinence pour le BIM est à démontrer.

L'équipe Vallorbe recommande de ne pas aller au-delà du LOD 300.

Les niveaux des LOI et LOG peuvent, mais ne doivent pas, être cohérents. Soit une maquette en LOD 300 peut inclure des objets en LOD 200 avec un LOI 500.

**Logiciel d'analyse (de maquette numérique)** [07.2].

Le contenu d'une maquette numérique peut être analysé avec les logiciels de CAO mais aussi avec des outils spécifiques.

Ces outils d'analyse permettent une vérification qualitative de la maquette, notamment concernant les détections de collisions entre deux maquettes de disciplines différentes (par exemple, un tuyau passe à travers une porte ou un train entre en collision avec la marquise d'une gare historique). Ils permettent également une exploitation de

celle-ci, au travers des simulations et des extractions ciblées d'informations intrinsèques aux objets.

**LOI ou Level of Information** [03.3], voir aussi *LOD* et *LOG*.

Composant le niveau de détail (LOD), le LOI correspond à la quantité d'informations contenue dans les objets constituant la maquette.

Il se décline également de 100 à 500 : le LOI 100 d'une fenêtre correspond à sa matérialité (cadre bois), le LOI 300 comprend les valeurs d'isolations thermique et phonique, le LOI 500 la fiche technique du produit avec les garanties.

**LOIN ou Level of Information Need.**

Selon la plateforme Bâtir digital Suisse :

Cela « définit le besoin en information côté client sous forme d'objectifs et d'exigences, dans le cadre de l'appel d'offres. Il constitue la base des accords et cahiers des charges suivants des participants. Pour le mandataire, le LOIN constitue en plus la base de déduction et de description des différents Level of Geometry (LOG) et Level of Information (LOI). »

Dans le cadre du projet, les LOG et LOI ont été prescrits pour chaque objet constituant la maquette numérique architecture (voir Tables pages 110-115).

**Maillage**, voir *Modèle numérique*.

**Manuel (ou protocole) d'échange d'informations ou IDM** pour information delivery manual [05 introduction] voir *Traducteur d'.IFC*.

Cette locution sans traduction officielle est relative à la documentation qui énumère les processus opérationnels. Ce manuel contient des spécifications détaillées concernant les informations qu'un utilisateur ayant un rôle

spécifique doit fournir à un moment donné d'un projet.

**Maquette numérique disciplinaire** [04 ; 09.3] voir aussi *Maquette numérique*.

Maquette propre à la discipline de l'architecte, de l'ingénieur civil ou de l'un des ingénieurs des techniques du bâtiment (voir schéma page 134). Par opposition, la maquette interdisciplinaire en comprend plusieurs de différentes disciplines. Cette dernière peut être en format ouvert ou propriétaire. Dans ce dernier cas, lors d'échanges avec une discipline tierce utilisant la même famille de logiciel, il sera question de closed BIM.

La maquette numérique architecture est la composante principale du jumeau numérique. Elle est la référence pour les maquettes des autres disciplines et les informations qu'elle contient prévalent sur celles des bases de données.

**Maquette numérique.**

La maquette numérique est la composante principale du jumeau numérique, elle constituée d'objets BIM. Le niveau de détail (LOD) des objets suit généralement, mais pas obligatoirement, celui de la maquette numérique. Ces objets comprennent donc une géométrie pouvant se complexifier au fur et à mesure du développement du projet et contiennent les informations nécessaires à l'exploitation du bâtiment.

La maquette numérique répond à des critères propres aux trois disciplines généralement admises pour la planification d'un ouvrage : architecte, ingénieur civil et ingénieur des techniques du bâtiment. Ce dernier comprend les disciplines spécifiques telles que chauffage, ventilation, sanitaire, électricité. Un bâtiment de complexité moyenne comprend donc six maquettes de disciplines différentes.

De chacune de ces maquettes pourront être

extraits des modèles de calculs qui serviront à optimiser le projet et le cas échéant à corriger la maquette.

Le premier produit d'exploitation de la maquette numérique architecture est l'extraction des plans, des coupes et l'élévation du projet.

La maquette numérique est à distinguer du modèle numérique qui n'est pas informé.

**MN95, ou MN03**, voir *Géoréférencement*.

### **Modèle, modèle numérique ou modèle 3D**

[01.2 illustrations ; 02.2 ; 09.1].

Un modèle est une représentation tridimensionnelle d'un objet mais, contrairement à la maquette numérique, sans données alphanumériques.

Les modèles numériques sont de deux familles : les modèles en polygones (constitués de triangles) et les modèles en NURBS (Non-Uniform Rational Basis Splines).

Les maillages sont des modèles numériques représentant la géométrie d'un objet avec plus ou moins de précision ; cette précision est en lien avec le nombre de polygones qui constitue le modèle.

Les modèles en vecteurs tels que ceux de swisstopo pour le terrain peuvent être assimilés aux modèles en polygones.

Les modèles en NURBS sont utilisés pour des éléments de projet devant être modélisés en courbes définies avec des points en coordonnées homogènes (comme pour la Blob architecture [sic]).

**Modèle de calcul** [03.4] voir aussi *BEM*.

De la maquette numérique seront extraits, en format ouvert ou propriétaire, des modèles de calculs qui seront développés dans des logiciels ad hoc.

Ces modèles numériques servent à effectuer des simulations, telles que les modèles de

calcul des ingénieurs civils ou des thermiciens. Leur géométrie peut être une variante simplifiée de la maquette numérique. A contrario, pour de l'infographie, l'architecte produira un modèle plus détaillé, avec notamment des éléments ornementaux qui ne feront pas partie de la maquette.

### **Modeleur.**

Personne chargée de l'élaboration du modèle tridimensionnel ayant un certain degré de compétence dans la production d'objets avec une géométrie complexe.

**MVD**, voir *Définition de la vue de la maquette numérique*.

### **Niveaux de maturité du BIM** [04.2].

La norme SIA 2051 donne deux niveaux à la méthode BIM : « little » et « big ». Mark Bew & Mervyn Richards (2008) les affinent et lui en donne quatre :

Little BIM :

— Niveau 0, est du DAO ou dessin vectoriel en deux dimensions.

— Niveau 1, usage de logiciel de CAO et modèle 3D disciplinaire. Coordination interdisciplinaire en deux dimensions.

Big BIM :

— Niveau 2, modélisation avec coordination interdisciplinaire entre maquettes numériques référencées.

— Niveau 3, co-modélisation pluridisciplinaire intégrée et en ligne. Ce niveau en openBIM, est actuellement théorique [04.2].

### **Noyau de modélisation [géométrique]**

(Geometric modelling kernel) [05 Introduction].

La modélisation géométrique est une branche des mathématiques appliquées et de la géométrie informatique qui étudie des méthodes et des algorithmes pour la description mathématique des formes. Le noyau de modélisation désigne le noyau de

description et de représentation de la géométrie qui est intégré aux systèmes de CAO.

### **Nuages de points.**

Un nuage de points est une représentation numérique tridimensionnelle d'un objet. Il est constitué d'un ensemble de points de données dans un système de coordonnées à trois dimensions.

Ces points se définissent par les coordonnées x, y et z. Ils n'ont pas de dimension, mais peuvent avoir une densité plus ou moins grande selon les besoins.

Ils servent souvent à représenter la façade de l'objet et peuvent en documenter la couleur ou être en noir et blanc.

L'image d'un nuage de point peut-être associé aux atomes constituant un objet, plus on s'en approche, plus on perçoit le vide entre eux. En poursuivant l'approche, on passe au travers de l'objet documenté ; celui-ci n'étant que nébuleux, soit sans matérialité ni profondeur.

Les nuages peuvent être structurés ou non structurés. Les premiers, issus d'appareils terrestres fixes, vont permettre une compilation (assemblage ou « registration » en anglais) facilitée de différents nuages tels que l'enveloppe du bâtiment et les espaces intérieurs. Les nuages non structurés sont issus d'appareils mobiles comme des drones, des sacs à dos... (voir annexe Géomatique pages 120-121). Traiter des données non structurées, manuellement ou avec les algorithmes d'outils informatiques, est forcément plus fastidieux.

Certains logiciels relient les points du nuage entre eux et génèrent ainsi un maillage formé de polygones (voir page 249 scan du meuble pour le hall d'entrée : en bas page de droite, à droite le nuage de points, page de gauche à droite le maillage). Ce maillage peut être exporté comme modèle et utilisé comme

gabarit dans les logiciels de CAO. Pour l'architecture inverse, cette opération est superflue.

Les nuages de points sont produits par lasergrammétrie ou photogrammétrie. Un format ouvert permettant l'interopérabilité et l'archivage des nuages de points est le LAS (de LASer), autre format ouvert interopérable avec certains logiciels et comprimant les données CAO est le e57.

**NURBS**, voir *Modèle numérique*.

**OpenBIM**, voir *BIM*.

### **Opérateur.**

Personne chargée de l'exploitation et de l'optimisation de maquettes numériques.

**Opération booléenne** (opération géométrique) [05.2 ; 09.1].

Une opération booléenne sur un objet permet de modifier sa géométrie par union, soustraction ou intersection avec une autre forme.

**Objets ou objet BIM**, voir *Objet numérique*.

**Objet numérique**, voir aussi *Bibliothèque d'objets*, *Librairies d'objets en ligne*.

L'élément fondamental de la maquette numérique est un objet numérique pouvant contenir de l'information. À chaque objet correspond une entité IFC. Généralement formés de polygones, ce sont des corps creux avec une propriété graphique qui leur permet d'afficher une hachure lorsqu'ils sont dans un plan de coupe vertical ou horizontal. Les objets suivent eux-même la déclinaison des LOD. Ils peuvent être divisés en deux groupes : les objets simples (ou éléments) et les objets de bibliothèque. Soit :

#### 1. Objet simple ou élément

Il est intégré au fichier de CAO.

1.1 Élément propriétaire (e.g. murs, dalle, pilier...).

1.2. Élément quelconque (forme pouvant avoir une géométrie complexe, non-paramétrique mais avec une géométrie modifiable) éventuellement issus d'un IFC.

## 2. Objet de bibliothèque

Tel le « jumeau numérique » d'un objet réel, c'est un composant de la maquette placé dans d'une bibliothèque. Cette dernière peut, selon le logiciel, être externalisée du fichier de CAO.

2.1 Objet propriétaire et itératif, tel que fenêtres, segments de chemin de fer, automates à billets...

2.2 Objet IFC non-itératif (objet issus de la publication de la maquette numérique).

Certaines librairies en ligne proposent des objets BIM. La plupart du temps, ce sont des copies virtuelles d'objets industriels, soit des objets de marques comprenant les caractéristiques qui leur sont propres. Leur LOD sont trop élevés pour les maquettes des phases SIA 11 à 33 et ne devraient pas être utilisés pour les projets publics.

**Objet de bibliothèque**, voir *objets numérique*.

**Objets (de bibliothèque) itératifs** [04.3 ; 09.1 ; 09.3].

Les objets de bibliothèque en format propriétaire sont fait pour être placés dans de multiples endroits du projet. Ils sont de fait itératifs.

Une des propriétés que ces objets itératifs ont en commun avec les objets simples est que leur propriété paramétrique peut être appliquée autant à l'ensemble des objets d'une même famille qu'à un seul objet isolé.

L'architecte pourra sélectionner toutes les fenêtres de son bâtiment pour leur rajouter un imposte ou la seule fenêtre qui fera exception

dans son projet.

Cette notion d'objet itératif est spécifique aux logiciels de CAO. Lors d'une publication en IFC celle-ci est perdue. L'objet IFC est soit individuel soit des multiples du même objet qui ne peut être modifié individuellement.

**Paramétrique (conception)**, voir aussi *IFC paramétrique*.

Mode de fonctionnement des logiciels de CAO qui permet de définir une entité par des paramètres pouvant être modifiés facilement. De cette façon, on change aisément la définition de l'objet.

Les paramètres peuvent être de plusieurs types : intrinsèques (longueurs, angles), cartésiens (coordonnées par rapport à un repère), situationnels (distance, angle entre 2 éléments).

## **Publication d'IFC**

Production, à partir d'une maquette numérique en format propriétaire depuis un logiciel de CAO, d'une maquette IFC. Le terme « export » est également utilisé. Ici, le terme publication a été préféré pour la notion de produit qu'il porte, donnant à la maquette numérique en format propriétaire le rôle de matrice.

La publication s'effectuera après avoir défini des paramètres permettant de définir la caractéristique de l'IFC, tel que paramétrique ou B-Rep, mais aussi par la sélection d'objets ou d'informations. Cette caractéristique est définie suivant le traducteur choisi.

## **Phases SIA 11 à 33** (planification).

Phases du projet incluant la procédure de demande d'autorisation et précédant celle de l'exécution d'un ouvrage. Elles comprennent : la définition des objectifs, les études préliminaires et l'étude du projet. Elles sont subdivisées en phases partielles.

Dans le cas d'un projet public, lors de ces

phases, la maquette numérique devrait être constituée exclusivement d'objets génériques (pas de copie virtuelle d'objet industriel comme proposés par certaines plateformes en ligne).

Le LOD de ces phases est compris entre 100 et 250 (éventuellement 300).

**Photogrammétrie** [02] , voir aussi *Laser-grammétrie*.

Technique qui consiste à effectuer des mesures dans une scène, en utilisant la parallaxe obtenue entre des images acquises selon des points de vue différents. Elle exploite les calculs de corrélation entre des images numériques.

Elle repose sur une modélisation rigoureuse de la géométrie des images et de leur acquisition afin de reconstituer une copie 3D exacte de la réalité. Le produit de cette copie 3D est un *nuage de points*.

**Plan de coupe** (planification) [03.4 ; 09.1 ; 09.2].

Le plan de coupe en architecture se situe généralement à 1.10 m au dessus du sol fini, regardant vers le bas. Il peut être inversé pour le dessin du plafond.

Les ingénieurs civils regardent généralement vers le haut.

**Plateforme collaborative en ligne** [04.2].

Des sociétés de services offrent un stockage de données pour les maquettes numériques avec une visionneuse intégrée permettant de les visualiser en ligne. Ces plateformes permettent de visualiser simultanément plusieurs maquettes en les fédérant.

Chaque mandataire y téléverse et télécharge les maquettes numériques respectives. La compilation s'effectue automatiquement pour autant que les maquettes aient une origine commune identique. Une personne doit gérer les données déposées, mais la responsabilité

incombe au mandataire.

Elles permettent l'échange de maquettes entre les différents acteurs du projet.

Elles intègrent le BCF et offre une documentation des différentes versions des maquettes durant la planification. L'offre de certaines plateformes les font converger vers des environnements de données commun (CDE).

Note : Actuellement aucune plateforme en ligne avec visionneuse n'existe en Suisse.

**Polygones** [02.2 ; 09.1 ; 09.3].

En géométrie euclidienne, le polygone élémentaire est le triangle. Il constitue l'élément de base du maillage ou modèle numérique et donc de l'objet BIM avec lequel on construira la maquette.

Proportionnellement, plus la forme de l'objet est complexe et détaillée, plus elle aura de polygones. Cet élément définit le poids de la maquette. Conséquemment, une maquette numérique comprenant un grand nombre de polygones engendrera un fichier volumineux.

Le nombre de polygones pour une petite villa en LOD 200: 20'000, pour un ensemble de la taille du complexe Vallorbe gare (architecture) LOD 250 : 600'000 polygones, la Tour Bel-Air à Lausanne avec les techniques du bâtiment en LOD 300 2,7 millions de polygones. La taille du fichier en Mo augmentera proportionnellement passant de quelques dizaines de Mo à plusieurs centaines voir au-delà du Go.

Un fichier volumineux a des conséquences directes sur l'énergie et le temps consommés pour le développement et l'exploitation des maquettes numériques.

**Propriétés (IfcPropertyDefinition)** [05.1 ; 05.2 ; 09.1 ; 09.3].

Au niveau le plus abstrait, l'IFC sépare les entités en deux: les entités enracinées et non-enracinées. Les entités enracinées (rooted

entities) dérivent de l' lcfRoot. Ce dernier est divisé en trois concepts: lcfObjectDefinition (auteur, domaine d'application, processus...), lcfRelationship (associativité, connectivité...), lcfProperty Definition.

L' lcfPropertyDefinition comprend un ensemble de propriétés dynamiques et extensibles. Cet ensemble peut être une valeur unique (une mesure, un état...), une valeur délimitée (minimum et maximum), une énumération, une liste ou table de valeurs.

Les propriétés se rapportent à l'entité correspondante et sont personnalisables. Elles peuvent être définies par les producteurs d'objets (les industriels, les éditeurs de logiciels...) ou les utilisateurs finaux (illustrations voir tables pages 100-105).

### **Republication (d'.IFC) [04.4 ; 05].**

Action de publier une nouvelle maquette numérique IFC depuis un logiciel de CAO à partir d'une maquette « IFC convertie ». Cette action peut avoir lieu après avoir importé une maquette d'une autre discipline dans la maquette du logiciel de CAO (voir compilation et schéma page 132).

Dans le cas de ce projet pilote, la republication a lieu après avoir effectué une simulation de transformation du bâtiment.

**Retro-BIM**, voir *Architecture inverse*.

**Scan ou scanner 3d**, voir *Lasergrammétrie*.

### **SIG ou système d'information géographique [01.1 ; 02.1 ; 02.3].**

Système d'information qui intègre, stocke, analyse et affiche l'information géographique.

Les informations graphiques sont principalement vectorielles et en deux dimensions, à l'exception des modèles topographiques et des bâtiments.

En Suisse, la Confédération (swisstopo), les

cantons avec leurs géoportails et les hautes écoles sont les acteurs principaux dans le domaine du SIG.

Les données des SIG servent de cadre légal à la modélisation de l'environnement dans lequel se trouve le projet et ce dernier devra les enrichir avec une documentation de l'ouvrage.

Dans le cadre de la dématérialisation de la procédure de demande d'autorisation (voir Phase SIA 11 à 33), certaines données de la maquette numérique seront récupérées dans ce système.

### **Sondages (construction) [03.2].**

Technique d'exploration d'éléments de construction multicouches pour en connaître la composition. Généralement effectué par un percement s'arrêtant à la couche structurelle. Le sondage d'un sol permettra de connaître les épaisseurs du revêtement et du support sur lesquels il a été réalisé ainsi que, éventuellement, la couche isolante le séparant de la structure. Il permettra de connaître la matérialité de chacune des couches.

Dans le cas d'architecture inverse sans sondage, les matériaux devront être des génériques et les couches des éléments composites représentés de manière monolithique.

### **Traducteur d'IFC [04.1; 04.4; 05 introduction].**

Algorithme, intrinsèque aux logiciels de CAO, permettant de sélectionner certaines géométries ou informations d'une maquette numérique en vue d'une publication IFC.

Il y a deux types de traducteurs: génériques et spécifiques.

1. Les traducteurs génériques permettent:

1.1 Une publication paramétriques.

1.2 Une publication en B-Rep.

2. Les traducteurs spécifiques permettent:

2.1 Une publication sélective d'objet. Pour l'ingénieur civil, l'architecte publiera une

maquette de la structure porteuse uniquement, donc sans second œuvre.

2.2 Une publication optimisée pour l'interopérabilité. Cela permet à un mandataire tiers utilisant un logiciel de CAO différent de recevoir une maquette plus facile à exploiter. Ici, le danger pour l'architecte est de publier plusieurs maquettes avec des traducteurs spécifiques à chacun des ingénieurs, et de devoir gérer autant de références différentes.

**Vecteurs** ou dessin vectoriel [01.3 ; 04.1].

Représentation d'objets au travers de primitives géométriques — segment de droite, de courbes... — dans un espace euclidien (à 2 dimensions). Les informations contenues dans ce mode de représentation sont uniquement géométriques. Les vecteurs sont les objets fondamentaux des logiciels de DAO.

Les applications du dessin vectoriel se trouvent aux deux extrémités de l'échelle :

- dans le domaine de la cartographie (voir *S/G*).
- pour les dessins de détails ou les schémas.

**Visionneuse (de maquettes numériques)**

[04 ; 05 ; 09].

Logiciels, généralement gratuits, permettant le contrôle visuel et la navigation dans les maquettes numériques. Ces logiciels peuvent être installés en local sur les ordinateurs. Des visionneuses peuvent être intégrées aux plateformes collaboratives en ligne.

Les visionneuses de nuages de points (voir § 02.3) sont des outils similaires. Certains logiciels et plateformes permettent une visualisation simultanée des deux, nuages de points et maquette numériques.

**Web des données (linked data)** [03.3 ; 04 introduction].

Concept sous forme d'initiative par des acteurs du Web, visant à favoriser la publication de données structurées sur le

Web, non pas sous la forme de silos de données isolés les uns des autres, mais en les reliant entre elles pour constituer un réseau global d'informations.

La maquette numérique est donc considérée comme une base de données à mettre en lien avec des informations en ligne au lieu de les contenir.

## SOURCES

- <<http://www.IFCwiki.org/index.php?title=Glossary>> Récup. 11.11.19.
- [swisstopo/12.06.19](http://swisstopo/12.06.19).
- <[https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Common\\_data\\_environment\\_CDE](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Common_data_environment_CDE)>. Récup. 12.09.19
- <<https://3d.bk.tudelft.nl/news/2016/05/16/CEUS-improved-CityGML-LODs.html>> Récup. 22.09.19
- Bâtir Digital Suisse : «\_Définition swiss BIM LOIN – (LOD).\_» & «\_BIM Workbook\_». Zurich 07.18
- Norme SIA 2051, « Building Information Modelling (BIM) – Bases pour l'application de la méthode BIM. Zurich 2017.
- Norme SIA 400 "400\_Elaboration des dossiers de plans dans le domaine du bâtiment". 1985 & 2000, Zurich.
- Norme ISO 19650-1 "Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) — Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction —. 2018.

# RÉFÉRENCES

## PHASE I

- 1) Inventaire Suisse des biens culturels d'importance nationale, édition 2009. Office fédéral de la protection de la population (OFPP), <<https://www.babs.admin.ch/fr/aufgabenbabs/kgs/inventar/a-objekte.html>>. Récup. 31.10.19
- 2) <<https://www.sbb-immobilien.ch/ueber-uns>>. Récup. 31.10.19
- 3) OFPP Op.cit.
- 4) <<https://www.buildingsmart.org/community/members/multinational/>>. Récup. 09.04.19
- 5) Schéma « Stratégie d'implémentation du BIM aux CFF -Horizon 2020-2025...- » SBB InfrastrukturPlanung und Steuerung 02.08.17
- 6) <<https://company.sbb.ch/fr/entreprise/projets/programmes-nationaux/bim/kurz-und-knapp.html>>. Récup.01.10.19
- 7) BIM World Munich 2018, Breakout Sessions<[https://www.bim-world.de/wp-content/uploads/2018/12/BernardCherix\\_REVERSE\\_ARCHITECTURE.pdf](https://www.bim-world.de/wp-content/uploads/2018/12/BernardCherix_REVERSE_ARCHITECTURE.pdf)> Récup. 09.10.19
- 8) « Vallorbe, Bâtiment du domaine ferroviaire. Etude historique et architecturale » N.Maillard. CFF, Bern 2009
- 9) « Etat général des éléments en pierre de taille des façade de la gare CFF de Vallorbe ». Atelier Lithos,O.Fawer. Lausanne, 2016
- 10) Le chemin de fer à Vallorbe, une épopée internationale..., (p.25) Vuadens, G. Vallorbe, 1993.
- 11) « Développement de l'axe international à travers le Jura ». Feuille des avis officiels, N° 96/29.11.19.Renens.
- 12) <<https://www.geo.vd.ch>> et <[http://www.rfinfo.vd.ch/rfinfo.php?no\\_commune=277&no\\_immeuble=8](http://www.rfinfo.vd.ch/rfinfo.php?no_commune=277&no_immeuble=8)>. Récup. 06.01.20.
- 13) Amsterdam 1997, ISBN: 0-8186- 8013-X
- 14) <[https://slideblast.com/point-clouds-to-deliverable-in-autocada-plant-3dautodesk\\_5953eef51723ddb11b62b157.html](https://slideblast.com/point-clouds-to-deliverable-in-autocada-plant-3dautodesk_5953eef51723ddb11b62b157.html)> 2012. Récup. 29.05.18.
- 15) <[https://www.vd.ch/fileadmin/user\\_upload/accueil/fichiers\\_pdf/com-171108-cathedrale\\_fermeture.pdf](https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/accueil/fichiers_pdf/com-171108-cathedrale_fermeture.pdf)>Récup. 07.12.18.
- 16) <<https://www.swisstopo.admin.ch/fr/connaissances-faits/mensuration-geodesie/nouvellescoordonnees.html>>. Récup. 10.12.18
- 17) <<https://www.swisstopo.admin.ch/fr/connaissances-faits/mensuration-geodesie/systemes-dereference.html>>. Récup. 16.08.19
- 18) Cp. <[https://fr.wikipedia.org/wiki/Dessin\\_d%27architecture](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dessin_d%27architecture)> Récup. 08.11.19
- 19) Voir page 20. M.Tamke Coordinateur, Centre for Information Technology and Architecture, The Royal Danish Academy of Fine Arts. <[http://duraark.eu/wp-content/uploads/2014/06/duraark\\_d7.7.1.pdf](http://duraark.eu/wp-content/uploads/2014/06/duraark_d7.7.1.pdf)> Récup. 15.01.20
- 20) Exemple dans le domaine des SIG « Combined use of airborne laser scanning and hyperspectralimaging for forest inventories », M.Parkan, F.Golay, LASIG. EPFL 2019<<https://infoscience.epfl.ch/record/262809>> Récup. 06.11.19.<[http://filip.biljecki.com/publications/2016\\_3dgeoinfo\\_semantic\\_classification.pdf](http://filip.biljecki.com/publications/2016_3dgeoinfo_semantic_classification.pdf)> M. Rook, et. Al. TUDelft.2016. Récup. 14.11.19.<[http://filip.biljecki.com/publications/2017\\_ceus\\_inferring\\_heights.pdf](http://filip.biljecki.com/publications/2017_ceus_inferring_heights.pdf)> F.Biljecki, J.Stoter, et. Al. TU-Delft.2017. Récup. 14.11.19.
- 21) cp. logiciel dRofus (non testé) <<http://drofus.no>> Récup. 12.12.18
- 22) « Space Time Architecture » Giedion, S. 1941 cité dans « L'architecture animée », Frochaux, M. RevueTracé 20/2019. Zurich.
- 23) À comparer l'usage des logiciel de calculs structurels e.g. SCIA, Cubus et ceux de modélisationstructurelle e.g. Allplan Engineering, Revit.

## PHASE II

<sup>24)</sup> « BIM- Das digitale Miteinander, Planen, Bauen und Betreiben in neuen Dimensionen» Pilling, André, Berlin 2017

<sup>25)</sup> <<https://www.w3.org/community/lbd/>>. Récup 12.09.19

<sup>26)</sup> <<https://www.structural-safety.org/publications/view-report/?report=8837>>. Récup. 11.09.19

<sup>27)</sup> <<https://kroqi.fr>>Récup 29.11.19. La société italienne ACCA Software permet avec sa solutionusBIM.platform d'en visualiser les données.

<sup>28)</sup> <<https://www.buildingsmart.org/ifc-rail-candidate-standard-is-available-for-review-and-comment/>> Récup. 22.11.19

<sup>29)</sup> Un test succinct du logiciel ACCA Edificius sur la maquette numérique B-Rep de Vallorbe a été effectué le29.10.19. Importé dans ce logiciel, une entité mur convertie (sans opération booléenne) a été modifiéedans sa géométrie, soit la largeur.

<sup>30)</sup> <<https://www.youtube.com/watch?v=EnoGWvZRM24&feature=youtu.be&t=2744>>. Récup. 05.01.20

<sup>31)</sup> <<https://www.bk.admin.ch/bk/fr/home/documentation/aide-a-la-conduite-strategique/analyse-situation-etcontexte/archives-analyse-situation-et-contexte.html>>. Récup. 21.09.18.

<sup>32)</sup> <<https://company.sbb.ch/content/dam/internet/corporate/de/ueber-die-sbb/projekte/nationale-programme/Handout-SBB-Mobilitaets-Raumszenarien.pdf.sbbdownload.pdf>>. Récup. 19.06.19

<sup>33)</sup> <[https://www.vd.ch/fileadmin/user\\_upload/accueil/Communique\\_presse/documents/Dossier\\_de\\_presse\\_-\\_Echanges\\_entre\\_moyens\\_de\\_transport\\_11\\_02\\_2019.pdf](https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/accueil/Communique_presse/documents/Dossier_de_presse_-_Echanges_entre_moyens_de_transport_11_02_2019.pdf)> p.12. Récup. 13.11.19. Le présent document concerne la première étape qui sera mise en service le 21.11.21. Le projet prévoitpour 2024, une seconde étape

qui concernera la gare de Vallorbe et la mise hors service desinfrastructures.

<sup>34)</sup> L'illustration de ce scénario est basée sur l'étude de concept « Accès au chemin de fer 2023 » de C.Locatelli. CFF 30.11.15. La réutilisation de la gaine du monte charge pour y construire l'ascenseur permettrait de conserver l'escalier magistral du hall en l'état. A contrario, il faudrait découper l'arrondi desmarches du pied de l'escalier ainsi que la barrière en fer forgé au rez-côté voies.

<sup>35)</sup> <<http://www.iba.nrw.de>>. Récup. 21.09.18

<sup>36)</sup> Exemples d'ateliers de prototypage auto-géré: <<http://www.fablab-renens.ch>>, <<https://www.makerspace-lausanne.ch>> Récup. 11.12.19

<sup>37)</sup> <<https://www.technopark.ch>>. Récup. 06.11.19

## PHASE III

<sup>38)</sup> i.e. 'Gestattungshandbuch für die Schweizerischen Bundesbahnen von Josef Müller-Brockmann'. Zurich 2019.

<sup>39)</sup> Le mot вокзал (ou Vauxhall) en Russe signifie gare. L'origine étymologique est liée au lieu dit éponyme. cp Dayanov, Rafael 'The History of Pavlovsk's Musical Railway Station' dans 'Station Russia' S. Mikhailovsky Ed. Berlin 2018.

<sup>40)</sup> Ponte, Alessandra « Public Parks in Great Britain and the United States From a +Spirit of the Place+ to a +Spirit of Civilisation+ » dans « The History of Western Gardens » S.Moser & G.Teyssot ed. Cambridge 1991.

<sup>41)</sup> « La Voie suisse » avec la vallée de la Jeunesse : partie générale à l'entrée de l'Exposition nationale suisse de 1964 à Lausanne. Elle devait, selon R. Richtetich « transmettre un message de confiance en l'avenir ». Architectes de l'exposition : A.Camenzind, G.Cocci, B.Meuwli. Tiré du Livre d'Or de l'exposition. Lausanne 1964.

<sup>42)</sup> Référence pour une pension dans une gare à Passau (D): <<http://hotel-bahnhof>

passau.de>. Récup.21.09.18

43) Référence pour le ciné-club, le mini-plex [sic] lausannois avec deux fois une quinzaine de places: <<http://www.zinema.ch>>. Récup. 21.09.18

44) Vuadens (Op.cit) p.20.

38 Echange du 06.12.19 Acca Software, assistance : recommandation d'utiliser le format SKP. N'a pas été testé dans le cadre de Vallorbe.

45) <[https://www.researchgate.net/publication/282988389\\_Automated\\_Extraction\\_of\\_Information\\_from\\_Building\\_Information\\_Models\\_into\\_a\\_Semantic\\_Logic-Based\\_Representation](https://www.researchgate.net/publication/282988389_Automated_Extraction_of_Information_from_Building_Information_Models_into_a_Semantic_Logic-Based_Representation)>. La maquette numérique Revit produite par le National Institute of Building Sciences (USA) est téléchargeable à l'URL suivant: <[https://github.com/andyward/XBimDemo/blob/master/Xbim.TestApp/Duplex\\_A\\_20110907.ifc](https://github.com/andyward/XBimDemo/blob/master/Xbim.TestApp/Duplex_A_20110907.ifc)> Récup. 15.01.20

46) Échange du 06.12.19 Acca Software, assistance : recommandation d'utiliser le format SKP. N'a pas été testé dans le cadre de Vallorbe.

47) <<https://sitn.ne.ch/lidar/>> Récup. 12.09.19

48) <<http://ahn2.pointclouds.nl>> Récup. 12.09.19

## **GLOSSAIRE**

49) <[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f15/Building\\_Energy\\_Modeling\\_Overview\\_Roth\\_042214\\_and\\_042314.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f15/Building_Energy_Modeling_Overview_Roth_042214_and_042314.pdf)> Récup. 26.09.19

50) <<https://bimstandards.fr/data-bim/systemes-de-classification/>> Récup. 12.09.19

## RÉFÉRENCES TECHNIQUE

### PRINCIPAUX LOGICIELS POUR LE BIM UTILISÉS EN SUISSE & POUR CE PROJET(\*)

Extrait de: < <http://www.buildingsmart-tech.org/implementation/implementations/allplominiform.application> > Récup. 12.12.18

#### Logiciels de CAO

Interdisciplinaire (archi., GC, tech. bât.)

– Revit 2019 (\*, logiciel de CAO 2)

Architecture

– Archicad 22 (\*, logiciel de CAO 1), Catia, Vectorworks.

Génie civil

– Allplan Engineering, SCIA, Tekla structure, cadwork.

Techniques du bâtiment

– Plancal Nova, DDS-CAD.

#### Logiciel d'analyse

– Navisworks, Solibri Model Checker(\*)

#### Plateforme collaborative

– Allplan BIM+(\*), Tekla BIMsight, Bimsync(\*), A360, usBIM.platform.

#### Visionneuse d'.IFC

– Solibri Model Viewer v9.8 (\*, visionneuse 1), usBIM.viewer+ (\*, visionneuse 2), BIM Vision

#### Nuages de points

Visionneuse

– Potree(\*)

Test de compilation ou assemblages

– CloudCompare(\*)

### DOCUMENTS POUR LA PRODUCTION DES MAQUETTES VALLORBE

– Vallorbe: Bâtiments du domaine ferroviaire +étude historique et architecturale+. Mandant CFF. Auteur N.Maillard. 10.20.09 (non publiée)

– Maquettes numériques de l'Office fédéral de topographie (Swisstopo)

Bâtiments (LOD1): swissBUILDINGS3D

Terrain: swissALTI3D

Rail, parcellaire: swissTML3D

– Nuages de points par Helimap « DAVA\_ MN95\_ NF02\_ kpt\_ 5cm\_ shift\_ extension ».

– Plans de la gare de Vallorbe, Échelle 1/ 100.

CFF I. Division de Travaux, Section de bâtiments, 1952.

Niv. -1 à combles (manque niv.-2 et combles corps central)

Facades nord, sud, est, ouest (copie de 1911, Tallens-Dubois architectes)

Coupe longitudinale, coupe transversale corps central, coupe transversale aile ouest (copie de 1911, Tallens-Dubois architectes)

– Nuages de points par HEIG-VD

### DONNÉES RELATIVES AUX MAQUETTES NUMÉRIQUE VALLORBE

Bâtiments : Gare, Douane suisse et française

– Surface: 8'000 m<sup>2</sup>

– Volume: 30'000 m<sup>3</sup>

(Note à propos des douanes: seule l'enveloppe a été scannée et modélisée)

## **Nuages de points**

- Taille 60 Go
- Pourcentage du bâtiment scanné (espaces intérieurs): 60%
- Nombre de scènes: 30
- Densité moyenne: 1 pt/cm<sup>2</sup>

## **Maquette numérique**

- Nombre de maquettes produites 4.  
(situation, gare, douanes, technique CFF)
- Situation: SIG LOD 2
- Architecture: LOD 300
- Technique CFF: LOD 300

### *Polygones maquettes gare+douanes existant*

- Nombre de polygones (architecture sans situation): 600'000.
- Nombre de polygones technique CFF: 175'000

### *Objets maquette gare re-publiée*

- Nombre d'entités .IFC converties: 3'300
- Nombre d'entités .IFC convertis corrompues par logiciel CAO 2 et corrigées pour pouvoir exploiter la maquette (état existant): 300, dont reconstruites : 135
- Nombre d'objets .IFC reconstruits (état projet): 660
- Nombre d'objets de la maquette projet (.IFC convertis et propriétaires): 4'300

## **CRÉDITS MAQUETTE POUR L'ÉTUDE COMPARATIVE [05]**

- Maquette IFC B-REP: GIT-CAD
- Maquette IFC paramétrique: Abvent

## **CRÉDITS IMAGES**

Toutes les photos et illustrations sont de l'auteur à l'exception de :

- CFF, pages 5; 8; 16; 42; 43
- CFF Historic, pages 11; 12; 13; 30
- GIT-CAD page 41
- HEIG-VD pages 9; 22; 23; 31
- Daniel Bisig, Immersive Lab, ZHdK: pages 35; 239
- swisstopo: pages 12; 20; 21

## REMERCIEMENTS

- Nancy Couling, architecte
- Jean-Bernard Racine, géographe
- Nathalie Lohner
- Stephan Aeschlimann, Jens Oswald, Allplan
- Attila Agfalvi, Philippe Butty, Valter Chieppa, Abvent
- Siddhartha Berns, AddiPole Sainte-Croix
- Daniel Bisig, Immersive Lab, ZHdK
- Collaborateurs de Bernard Cherix Architecte  
Olivier Viret, dessinateur. Patricia Gomez Vesga, architecte  
Nadia Pasini-Romero, architecte
- Paolo De Jesus, Photographe
- Martin Gonzenbach, Alexandre Milot
- Kai Halbach
- Nicolas Lourenço
- Patrick Refondini, eScalesoft
- Dr. Odilo Schoch, ETHZ
- Nicolas Servageon, Ville de Renens
- Lukas Spengler, Daniela Morandi, Cedric Patthey, CFF
- Denis de Techtermann, architecte
- Richard Timsit, Anne Possoz, FabLab Renens

## EXPERTISE ET RELECTURE

- Philippe Bondier, Abvent (chapitres techniques)
- Jean-Philippe Sutter, GIT-CAD (chapitres techniques)
- Monica d'Andrea, journaliste

«D’abord, on essaie de raconter cette histoire de Racine. Ensuite, il y a des associations qui sortent de l’ombre. Ou, pour dire les choses plus simplement, quand un texte ne plaît plus, on en prend un autre. Quand on se sent trop confiné, il faut oser en sortir. »

Frank Castorf à propos de

« Bajazet - en considérant Le Théâtre et la peste- » Racine/Artaud. 2019.

Mandant



**SBB CFF FFS**

Programm BIM@SBB

Billal Mahoubi, I-PJ-BIM

Remy Hoehener, I-AT-KUF-SAMM-DM

Maria Tapia, I-PJ-BIM.

**Projet de documentation pour correction**

3 exemplaires papier

03.02.20

Architecte

Bernard Cherix

Géomatique

HEIG-VD

Techniques du bâtiment

Weinmann Energies SA

Experts CAO

GIT CAD

Abvent SA

Contact:

Bernard Cherix Architecte

info@bernardcherix.ch

www.bernardcherix.ch

