



CENTRE DE RECHERCHE

EN DONNÉES ET INTELLIGENCE
GÉOSPATIALES



Atelier Jumeaux Numériques

Les Jumeaux Numériques Urbains Les sources de données et les standards

Prof. Rafika Hajji

IAV Hassan II- r.hajji@iav.ac.ma

26 janvier 2023

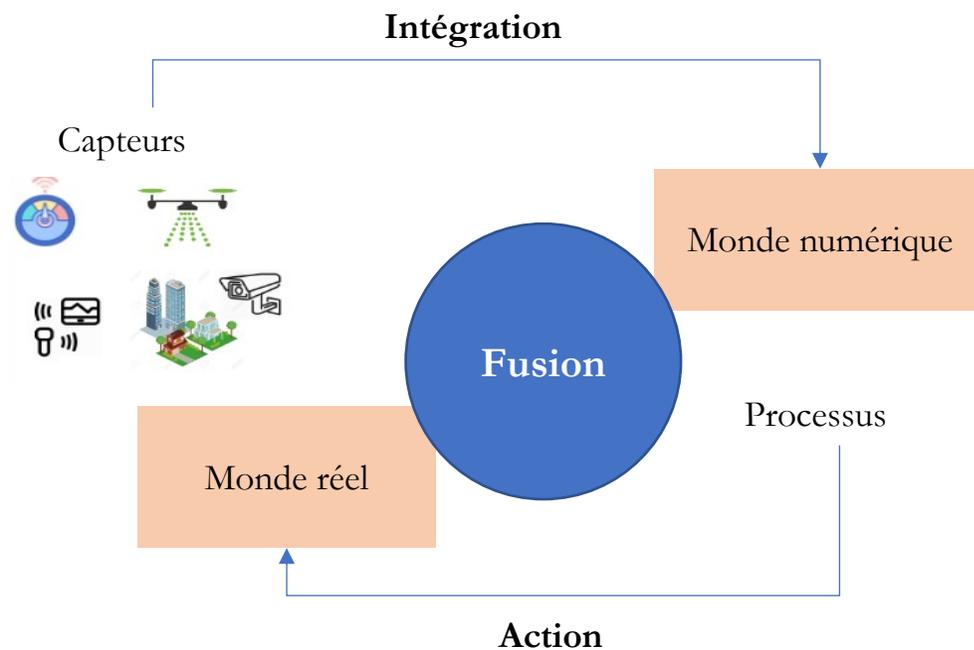
Contenu

- **Le Jumeau numérique urbain: Retour sur le concept**
- **Le Nexus: BIM – CIM – DT**
- **Les sources de données**
- **Les standards**
- **Conclusion**

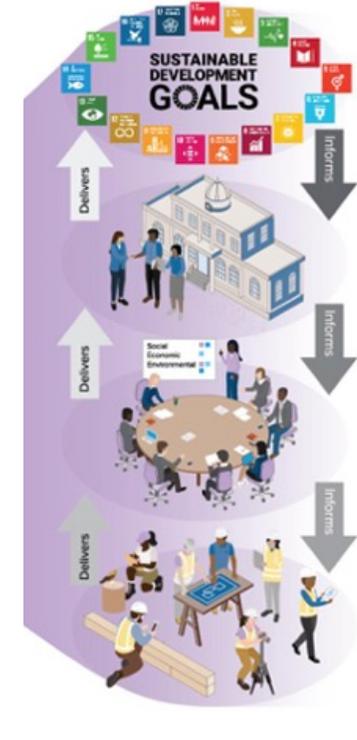
I n t r o d u c t i o n

Le Jumeau numérique urbain (CDT)

- Enjeux du développement durable



Jumeau numérique

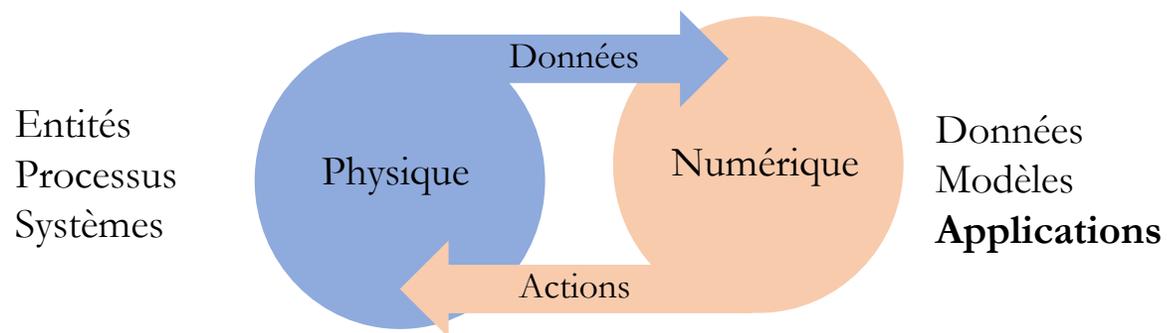


SDG 11

Villes numériques, inclusives,
résilientes et durables.

Le Jumeau numérique urbain (CDT)

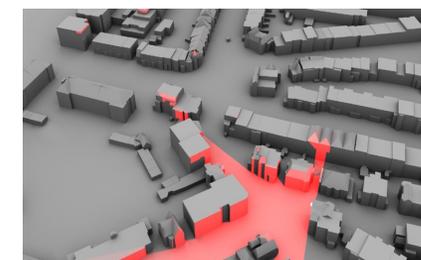
- Multi-applications
 - Plusieurs déclinaisons **orientées application**
Ex : « jumeau numérique climatique »



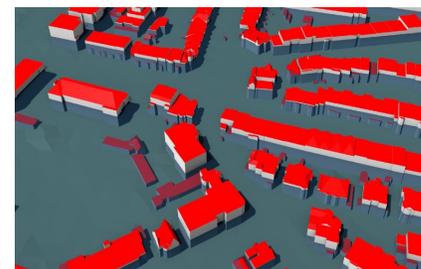
Propagation du bruit



Estimation du potentiel solaire



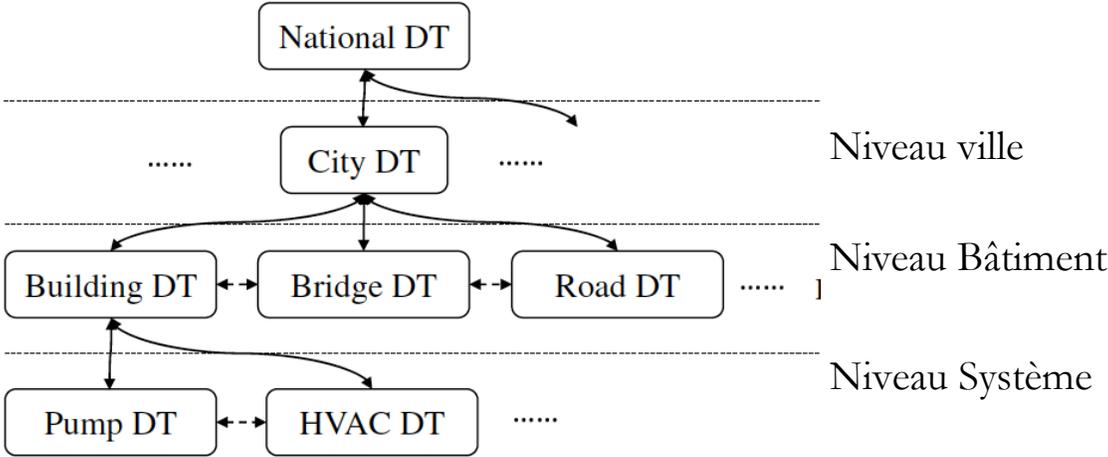
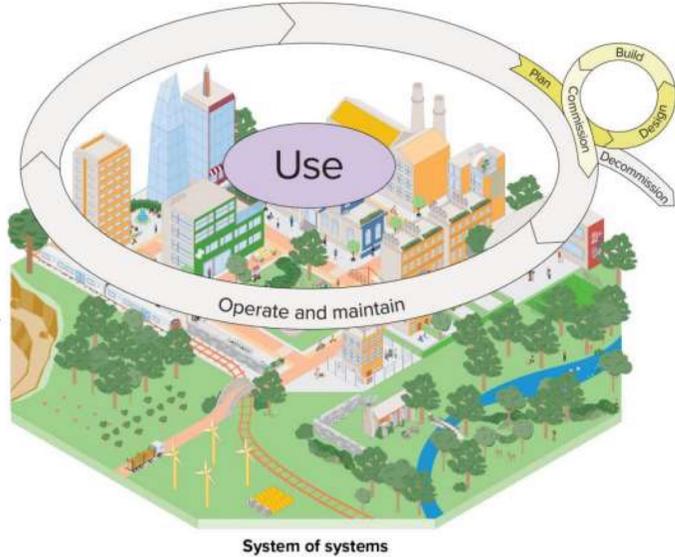
Analyse de visibilité



Risque d'inondation

Le Jumeau numérique urbain (CDT)

- Multi-niveaux
 - Plusieurs Niveaux/Echelles
 - Ville/Quartier/Bâtiment/Ouvrage/Système/...
 - Système de Systèmes

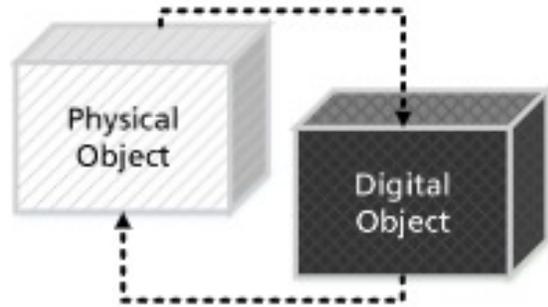


(Lu et al.2020)

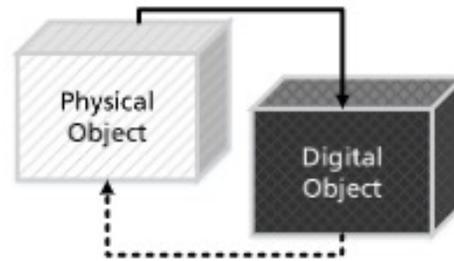


Le Jumeau numérique urbain (CDT)

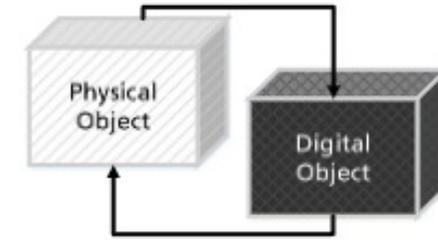
- Niveaux de maturité



Digital Model



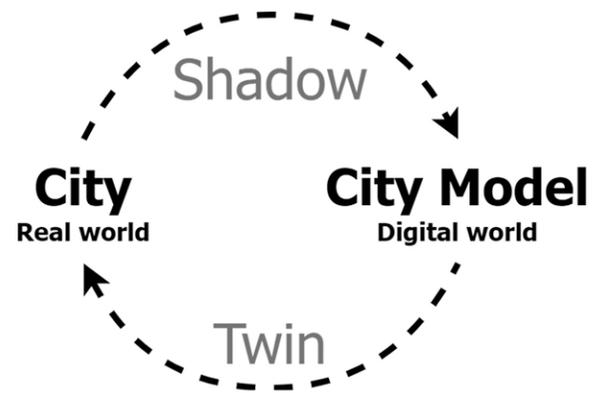
Digital Shadow



Digital Twin

---> Flux de données manuel

—> Flux de données automatique

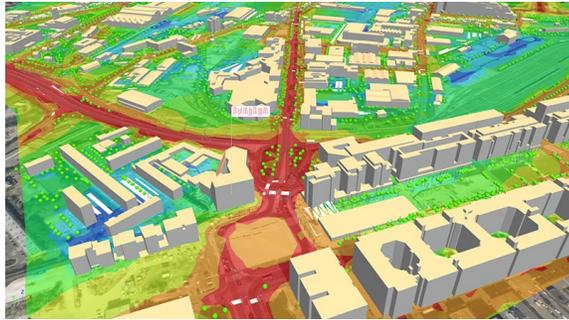


Basé sur Kritzing, et al. (2018)

Nexus BIM - CIM - DT

Nexus CIM, BIM et DT

CIM



Modélisation 3D

- Géométrique
- Sémantique
- Echelle de la ville

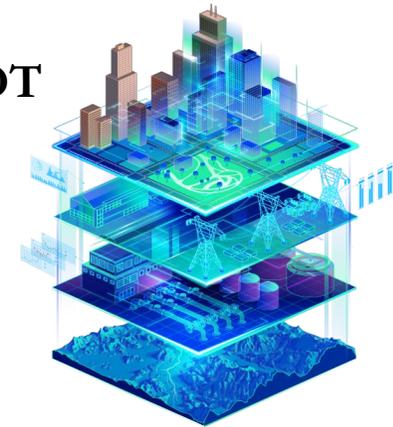
BIM



Modélisation 3D

- Géométrique
- Sémantique
- Fonctionnelle
- Echelle du bâtiment

DT



Réplique numérique

- Dynamique
- Interactive
- Prédictive
- Echelle de la ville

Du BIM au DT

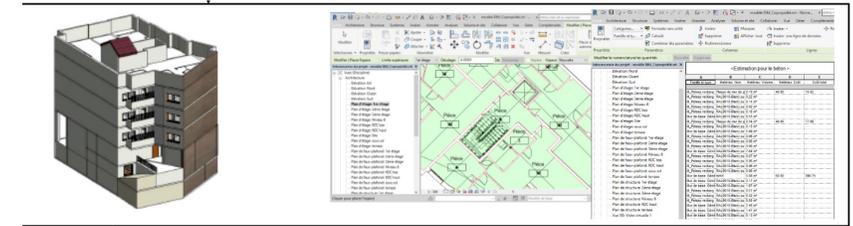
Le BIM :

- Economie de la construction
 - Optimisation des Coûts & Délais
 - Gestion de projet
- Modélisation – Simulation (Maquette BIM)
- Simulation SIG
- +++ Intégration de capteurs IoT (Monitoring)

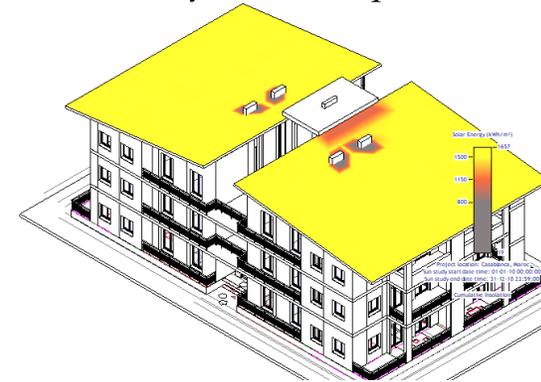
Modélisation



Analyse de coûts-quantités



Analyse thermique



Simulations SIG



Monitoring



Quel apport du DT dans l'ingénierie de la construction?

Du CIM au DT

- Précision
- Géométrie + Sémantique
- Généralisation: objets et détails requis
- Structuration
- Mise à jour



Extension du CIM

- Du point de vue informationnel:
++ **Attributs** et **Propriétés**
- Du point de vue fonctionnel:
++ **Relations** et **Processus**



Différentes approches

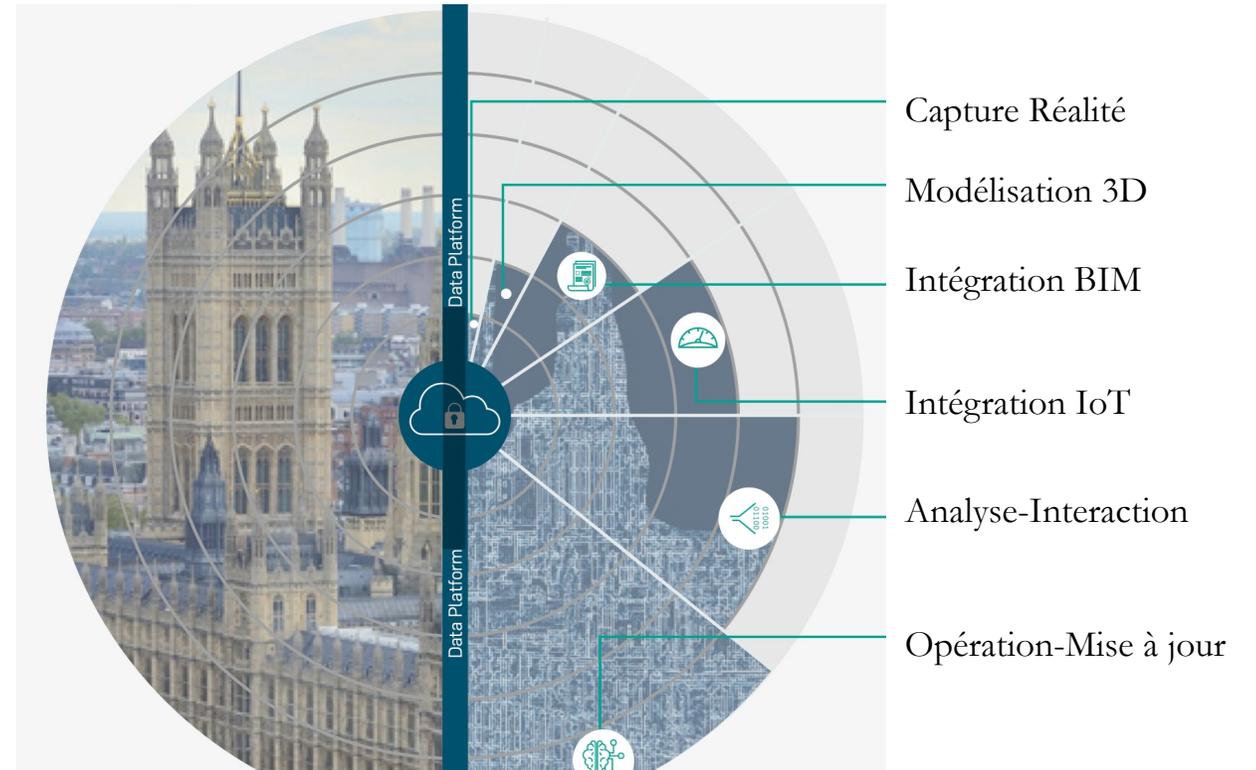
- Le CIM est un input du DT
- Le DT est une spécialisation du CIM

C o m m e n t c o n s t r u i r e u n D T ?

Composants d'un DT

Un jumeau numérique doit être basé sur:

- Des **modèles 3D de ville sémantiques**.
- Des **modèles BIM**.
- Des **données de capteurs en temps réel**, des **données historiques**.
- Une variété d'**analyses** et de **simulations**.
- **Mise à jour** continue avec les données du jumeau physique.
- Un **lien bidirectionnel** entre le modèle réel et sa copie digitale.



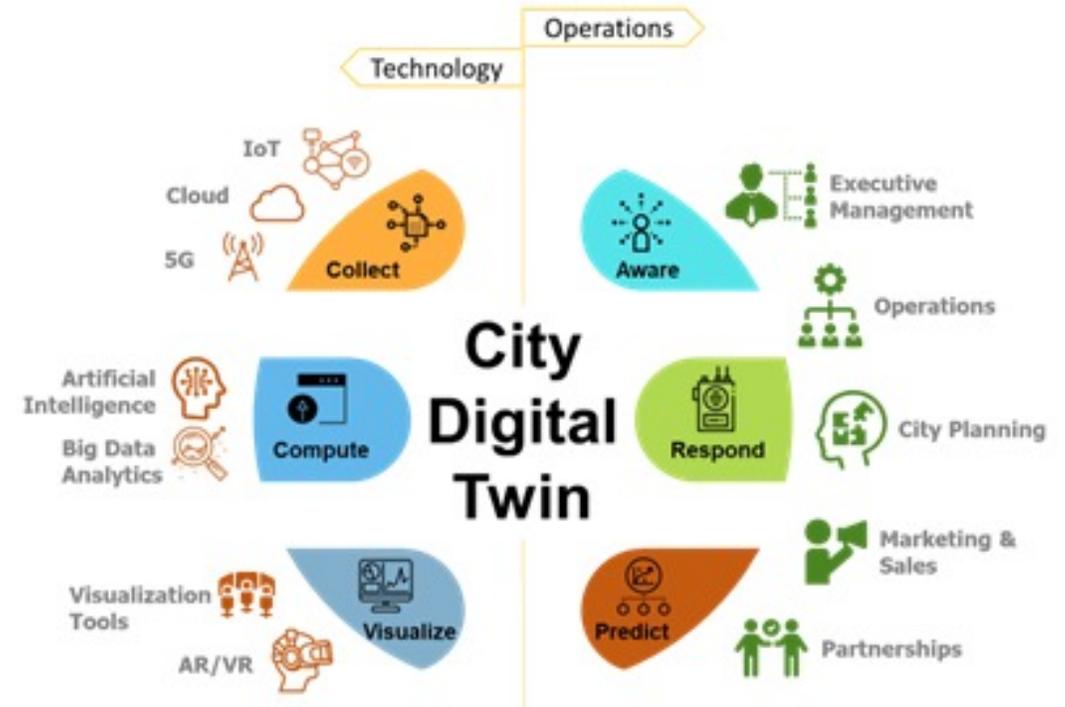
Modèle Physique Jumeau Numérique

(CDBB, 2020)

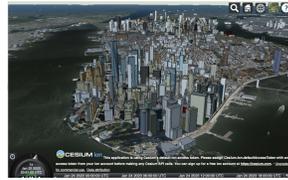
Technologies pour le DT

- **Capture de la réalité 3D**
 - Modèles 3D statiques (BIM et CIM)
- **IoT et 5G**
 - Données dynamiques
- **Logiciels de simulation**
- **Plateformes de visualisation:**
 - Web – RV/RA
- **Intelligence Artificielle – Machine Learning – Data Analytics**
 - Traitement de données massives

Infrastructure technologique + Processus



Architecture Technologique



Visualisation 

Affichage d'attributs Requetes Manipulation

Tuilage 

Optimisation Tuilage Gestion cloud Streaming



Analyses & Simulations

Potentiel solaire

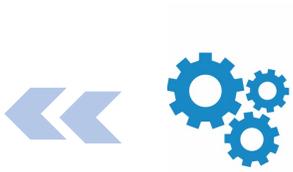
Simulation de bruit

Planification urbaine

CityGML ADEs

Stockage



Export

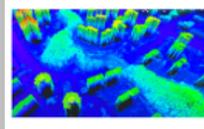


Modélisation

   **Maillage** 

Acquisition – Intégration

Orthophotos Nuage de points Images obliques BD BIM Fichiers externes Données capteurs





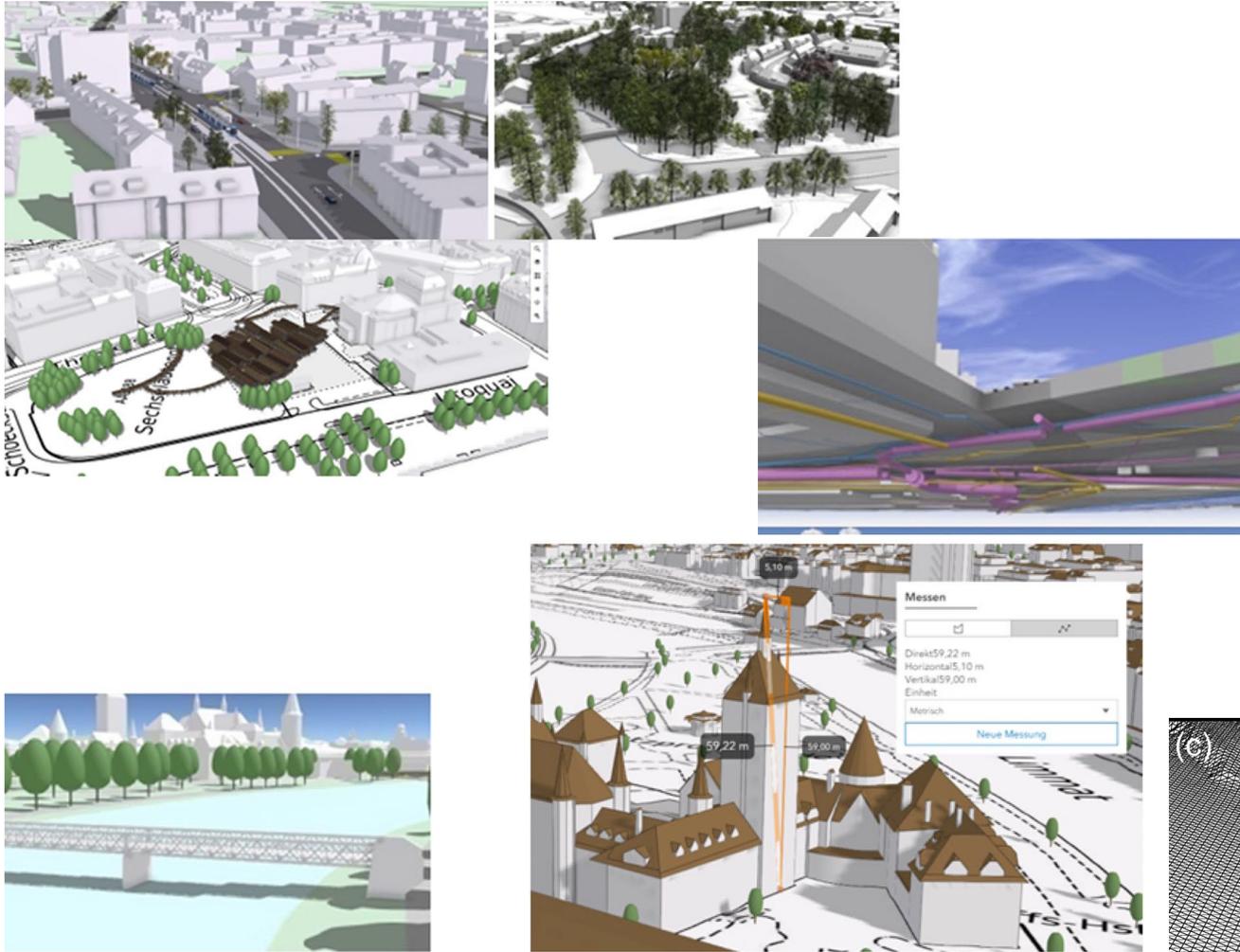


Applications

Géoportails

Viewers

Quels objets urbains?



Différents objets urbains

- Bâtiments
- Sites remarquables
- Terrain
- Routes
- Arbres, végétation
- Ponts et tunnels
- Réseaux
- Autres installations de la ville
-

Sources de données

▪ Acquisition

- Photogrammetrie Terrestre/Aérienne
- Lidar Terrestre/Aéroporté
- Systèmes low cost: Caméras RGB-D
- Reconstruction 3D à partir de modèles CAD/SIG
- Sources complémentaires: Crowd sourcing – BD cadastrales – Données IDS, ...

▪ Géoréférencement

- Référencement local (/ Système de coordonnées local)
 - (Acquisition + Géoréférencement)
 - Géoréférencement Post acquisition
- Fusion/Intégration

Plusieurs plateformes

Echelles # Précisions # Coûts

- **Systèmes Terrestres – Aéroportés**
- **Statiques – Mobiles:**
 - Stations totales – Scanners lasers (TLS et Aéroporté) Photogrammétrie Terrestre/Aérienne
 - Scanners mobiles – MMS – Photogrammétrie par drone/aérienne
- **Capteurs**
 - Lidar /Image/Géoréférencement (GNSS/IMU)



Systèmes Aéroportés



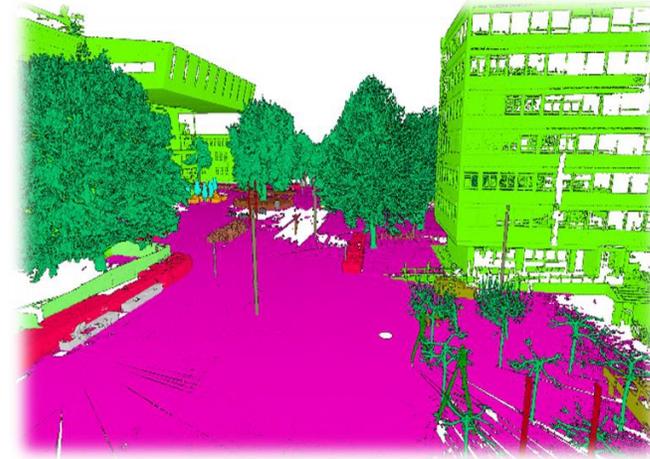
Systèmes Terrestres



Nuages de points – Caractéristiques

Nuage de points : XYZ + RGB+ Intensité+ Classe+

- Une source potentielle pour les DT
 - Densité – Précision – Rapidité
- Défis
 - Coût d'acquisition
 - Lourdeur des traitements
 - Données non structurées – redondantes
 - Segmentation sémantique : encore des défis



Nuages de points – Traitements

■ Consolidation – Géoréférencement

- Consolidation: Recalage relatif entre nuages
- Géoréférencement: Direct/Indirect

■ Prétraitement

- Réduction du bruit
- Rééchantillonnage

■ Segmentation/Classification

- Reconnaissance de formes géométriques
- Deep Learning

■ Fusion

- Nuages – Nuages/ Nuages – Images

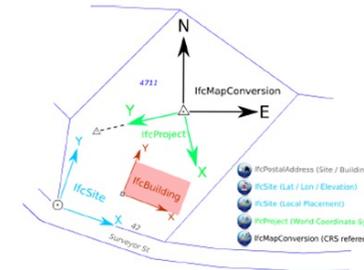
■ Modélisation

- Du nuage à la maquette (Scan To BIM)
- Modélisation CIM

Consolidation



Géoréférencement

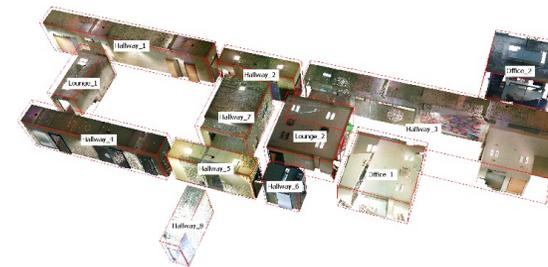


Nettoyage



Rééchantillonnage

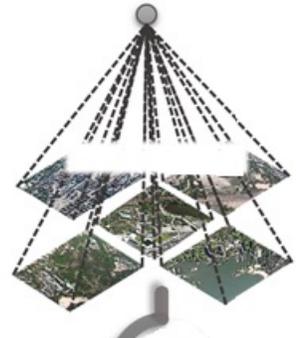
Segmentation sémantique



Photogrammétrie

- **Reconstruction 3D par corrélation d'images**
 - Détection de points d'intérêt avec des descripteurs d'images
 - SFM (Structure from Motion)
 - SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)
 - SURF (Speeded-Up Robust Features)
- **Génération de nuages de points**
 - Une bonne alternative au LiDAR
- **Imagerie drone**
 - Coût abordable et acquisition à basse altitude.
 - Répétitivité >> Monitoring

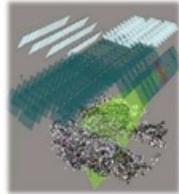
Traitement d'images



Tuilage



Traitement



Aérotriangulation

Acquisition

Préparation

Production



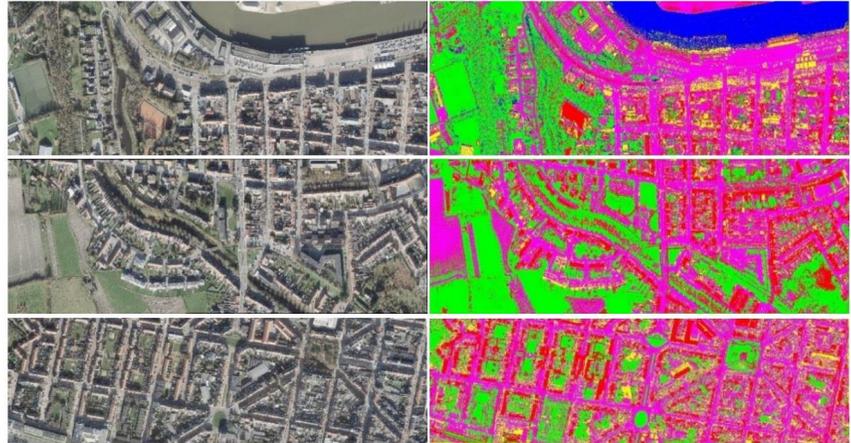
Stéréopréparation



Maillage

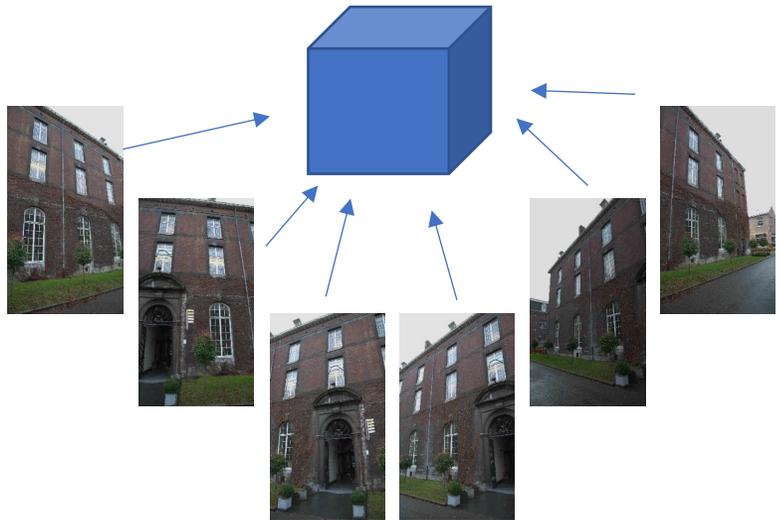


Classification



- Buildings
- Vegetation
- Impervious surfaces
- Cars
- Water

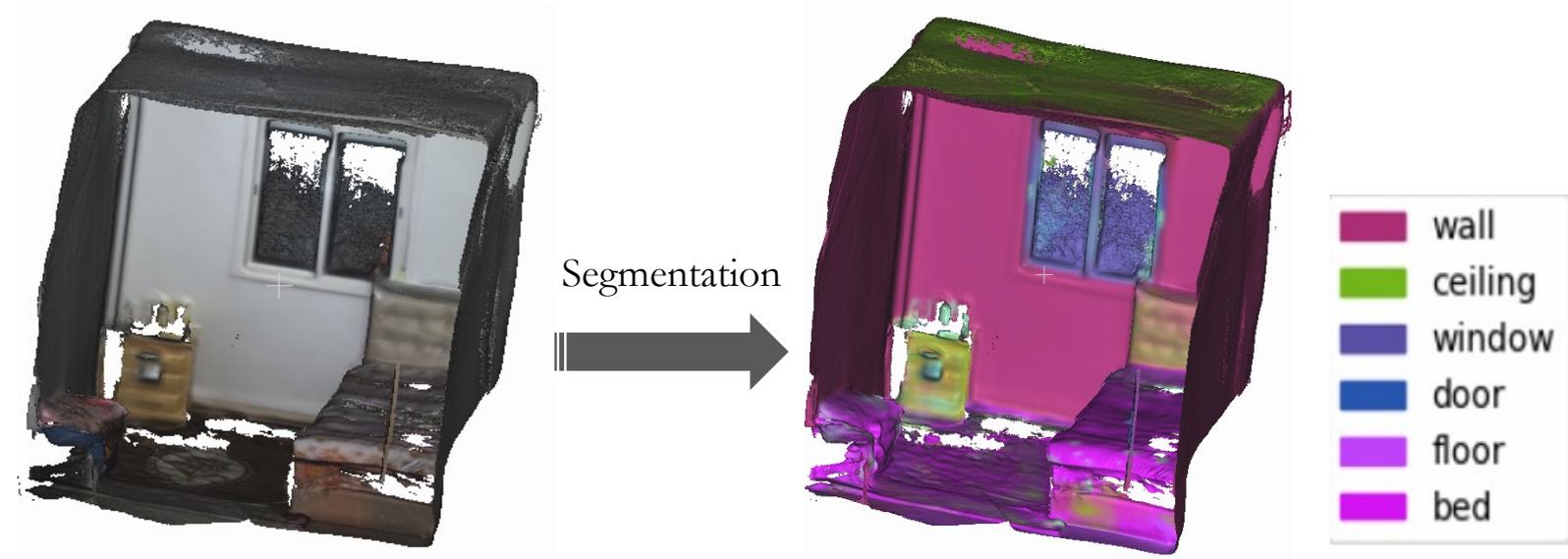
Photo-Modélisation



Systemes Low cost

- Acquisition Indoor
 - Données RGB + Profondeur
 - Génération de nuage de points
 - Segmentation
 - Génération de maquettes BIM
-
- Prix abordable Vs Précision

Kinect Azure



Nuage de point généré a partir des images RGB-D

Nuage de point segmenté

- Delasse, C., Lafkiri, H., Hajji, R., Rached, I., & Landes, T. (2022). Indoor 3D Reconstruction of Buildings via Azure Kinect RGB-D Camera. *Sensors*, 22(23), 9222.
- El Haouss, N., Makhoulfi, R., Rached, I., Hajji, R., and Landes, T.: Use of kinect azure for BIM reconstruction: establishment of an acquisition protocol, segmentation and 3D modeling, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-2/W1-2022, 87–94

L e s s t a n d a r d s 3 D

Standards 3D

- **CityGML** à l'échelle de la ville (CIM)
- **CityJson** (Encodage du CityGML)
- **IFC** à l'échelle du bâtiment (BIM)
- **SensorThings API**: Données IoT
- **Autres**: Indoor GML; Landxml...

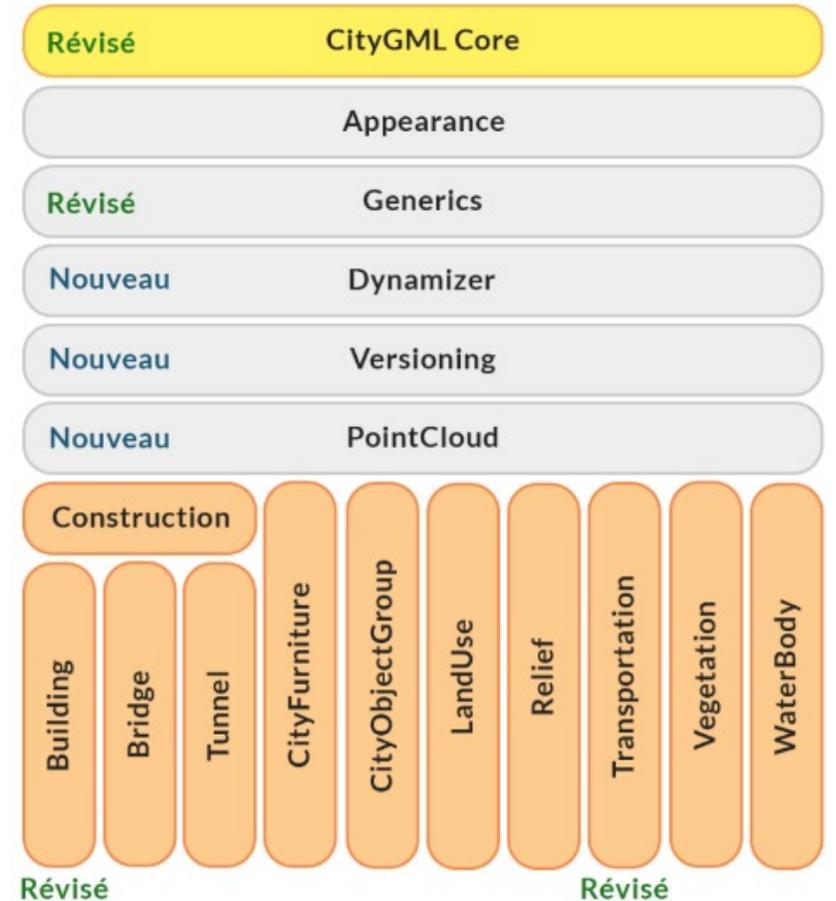


SensorThings API

CityGML

- Standard pour les modèles 3D urbains
- Version 3.0
 - Nouveaux concepts:
 - Espace Physique – Logique
 - Occupé – Non-occupé
 - Révision de modules: Core – Generics – Building – Transportation
 - Nouveaux modules: Dynamizer – Versionning – PointCloud

| Version | Document Title (click to download) | Document # | Type |
|---------|--|------------|------|
| 3.0 | OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard | 20-010 | IS |
| 3.0 | OGC City Geography Markup Language (CityGML) 3.0 Conceptual Model Users Guide | 20-066 | UG |
| 2.0 | OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard | 12-019 | IS |
| 1.0 | OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard | 08-007r1 | IS |



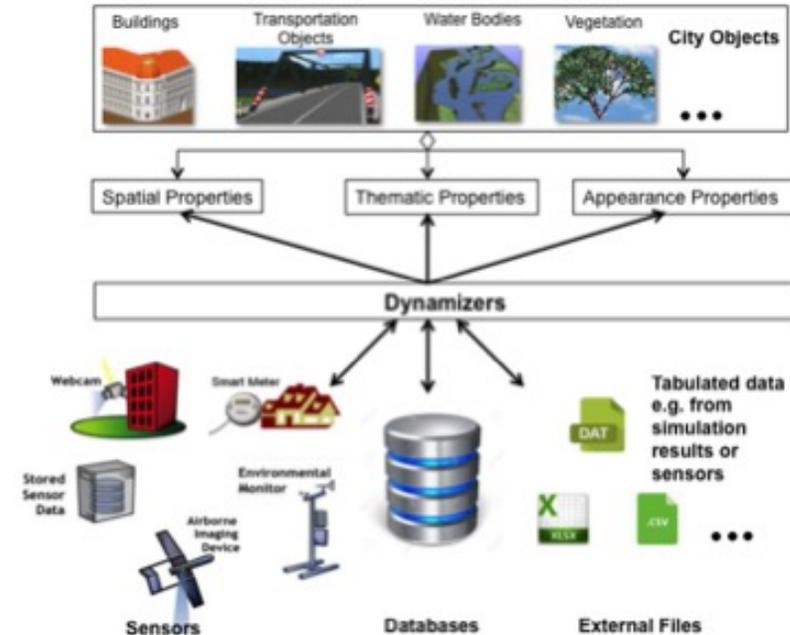
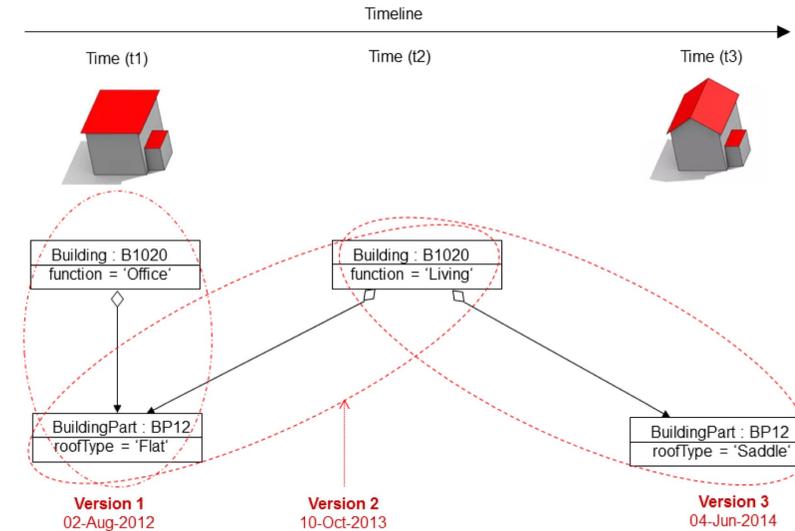
CityGML 3.0 –Aspects dynamiques

■ Versionning

- Prise en charge de l'historique de changement
- Aspect dynamique pour le DT

■ Dynamizers

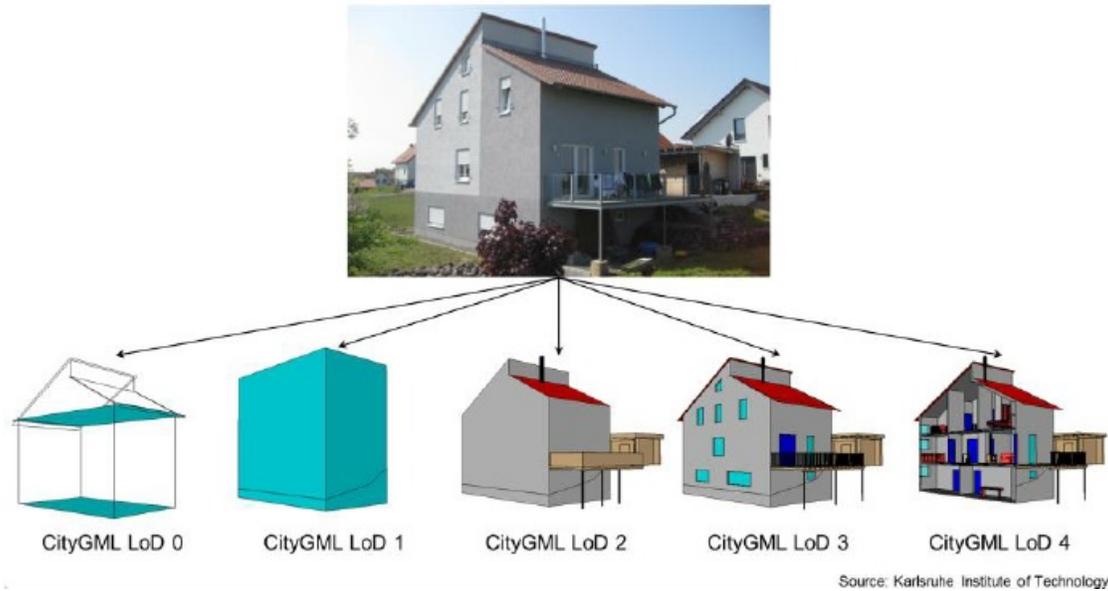
- Modélisation – Support des propriétés dynamiques du DT
- Intégration standardisée des données capteur
- Prise en charge des liens directs avec les capteurs via les requêtes



CityGML – Niveaux de détail (LoD)

■ Bâtiments

- 5 niveaux de détails (LoDs-V2)
- Révision dans CityGML 3.0

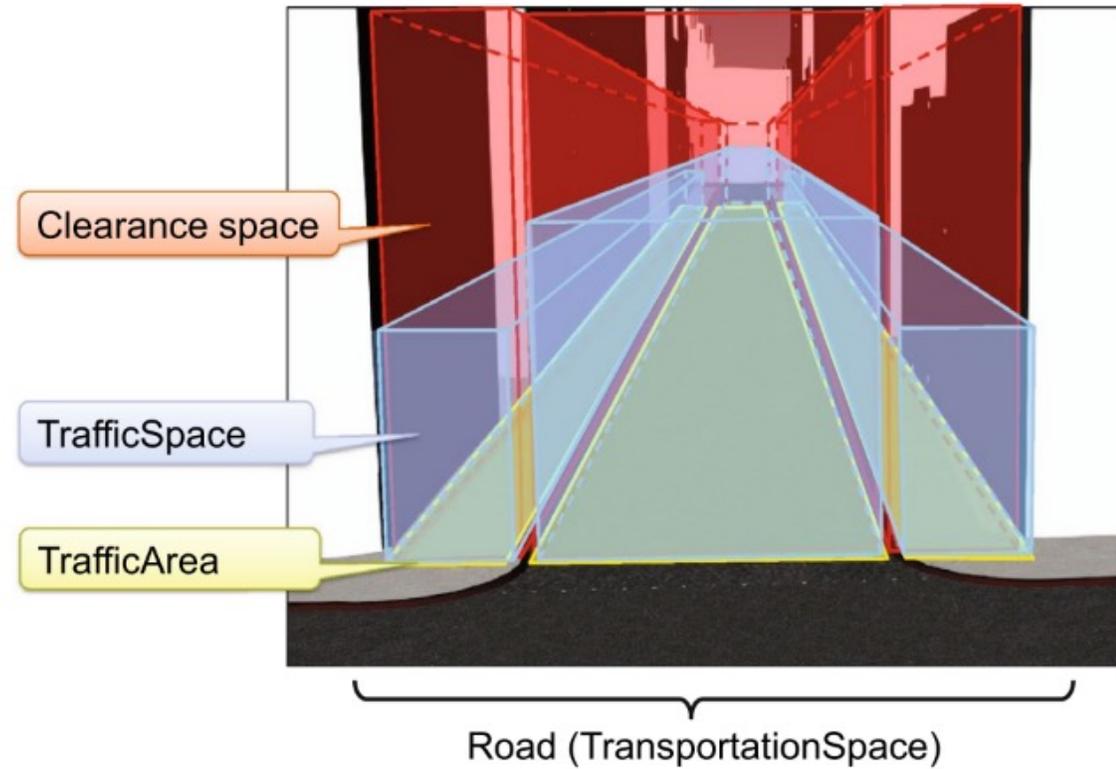
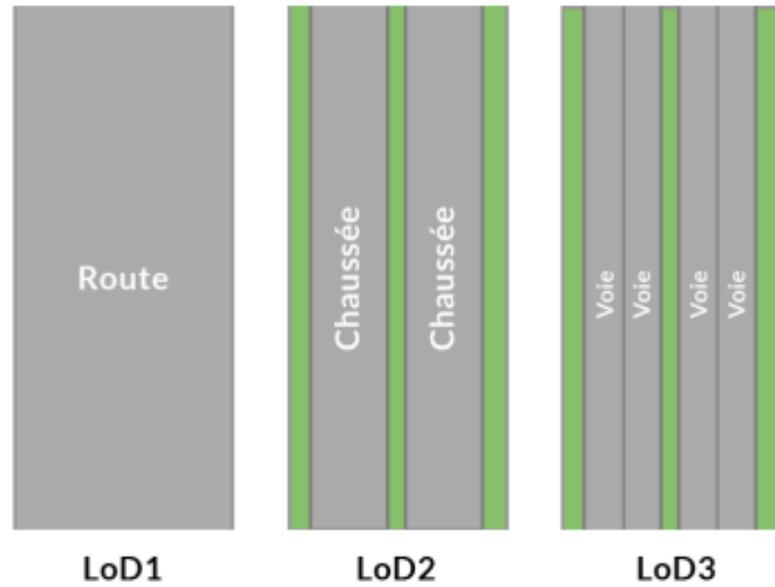


| | LOD x.0 | LOD x.1 | LOD x.2 | LOD x.3 |
|------|---------|---------|---------|---------|
| LOD0 | | | | |
| LOD1 | | | | |
| LOD2 | | | | |
| LOD3 | | | | |

TU Delft 3DgeoInfo

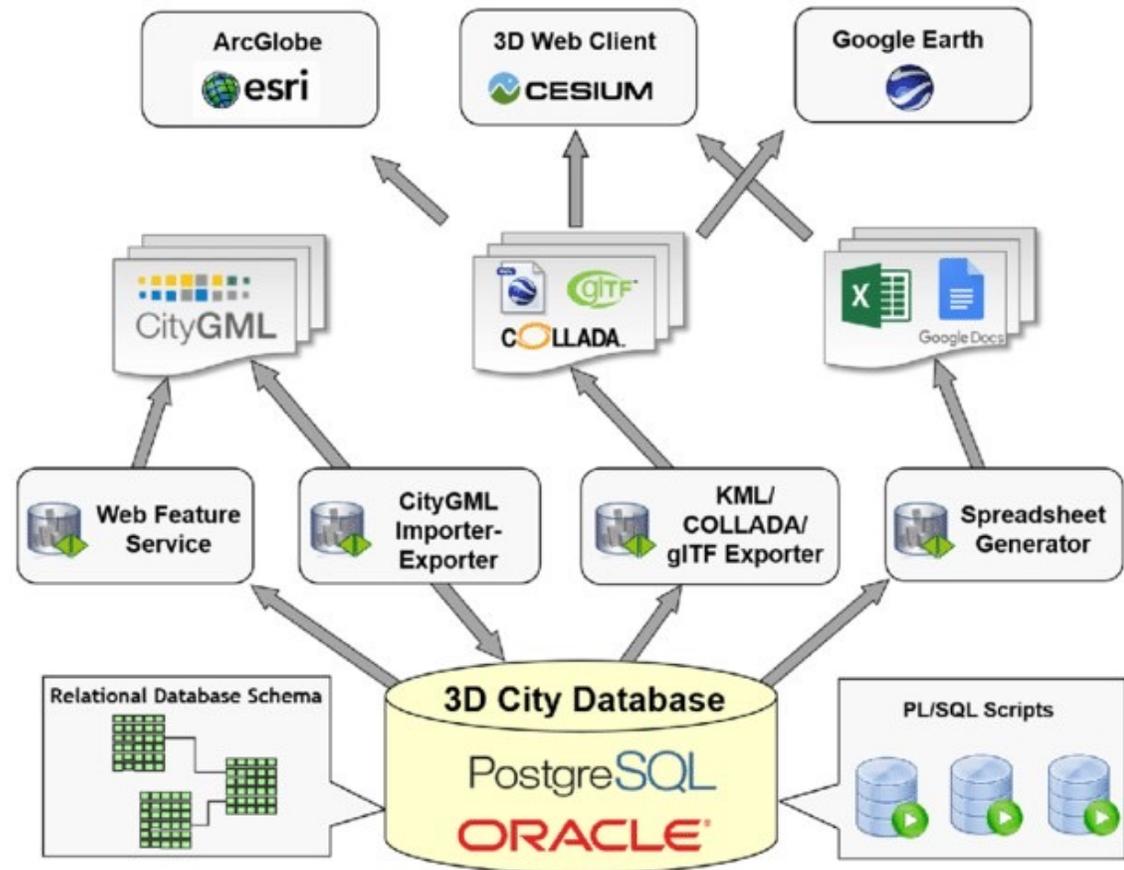
CityGML – Niveaux de détail (LoD)

- Module Transport- CityGML 3.0



CityGML – 3DCityDB

- Une BD Open source pour la gestion des modèles 3D basés CityGML



CityGML – CityJSON

- Standard communautaire de l'OGC
- Date de publication : 13 août 2021
- Version actuelle : CityJSON 1.1.2
- JSON : JavaScript Object Notation
- Bonne alternative pour l'encodage du CityGML
 - Facilité de lecture et de développement



IFC (Industry Foundation Classes)

- Format de fichier orienté objet développé par buildingSMART International utilisé en Open BIM.
- Données **géométriques** et **non-géométriques**
 - Attributs et propriétés
 - Relations entre les objets
- Ne modélise pas les autres objets de la ville



IFC – Arborescence spatiale

Projet

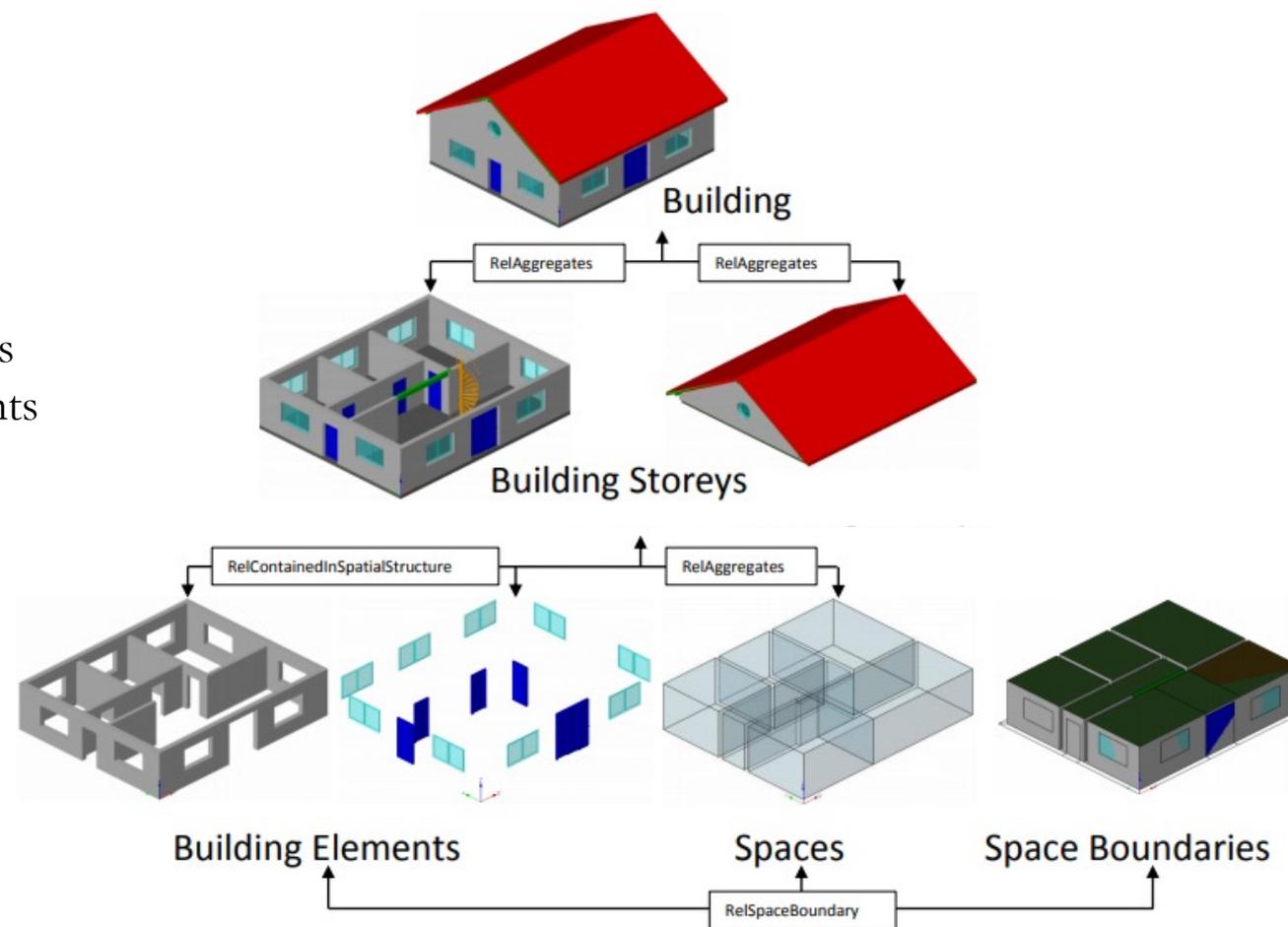
– Site

• Bâtiment

– Niveaux

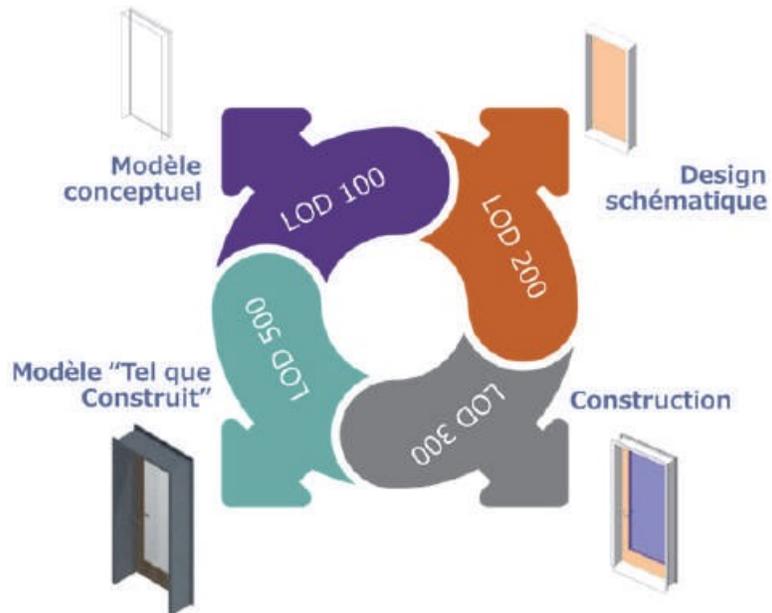
> Espaces

> Eléments

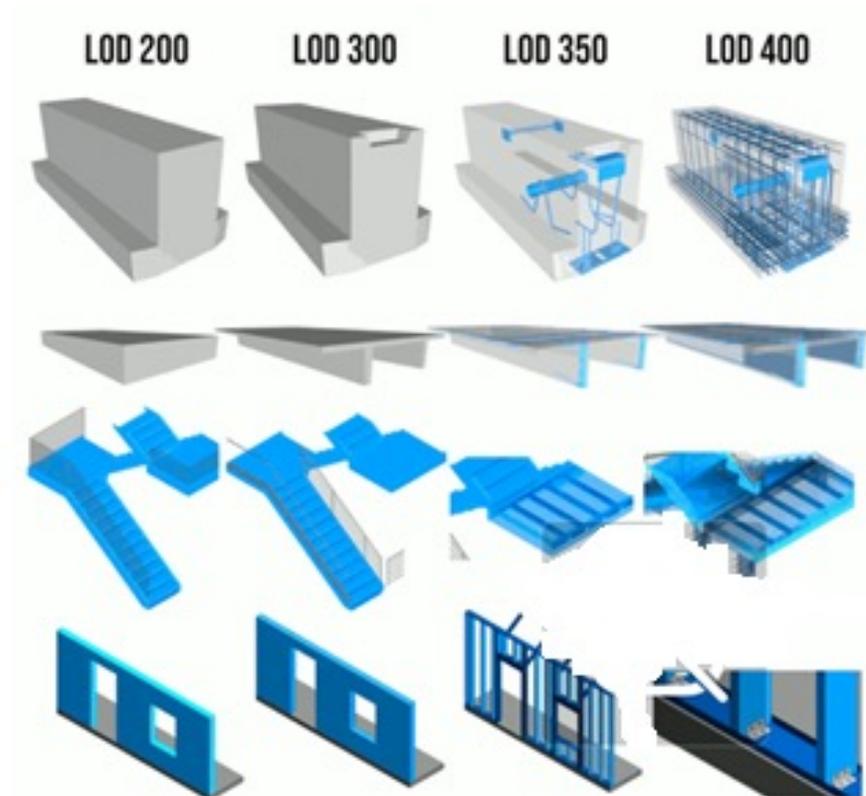


IFC – LoDs

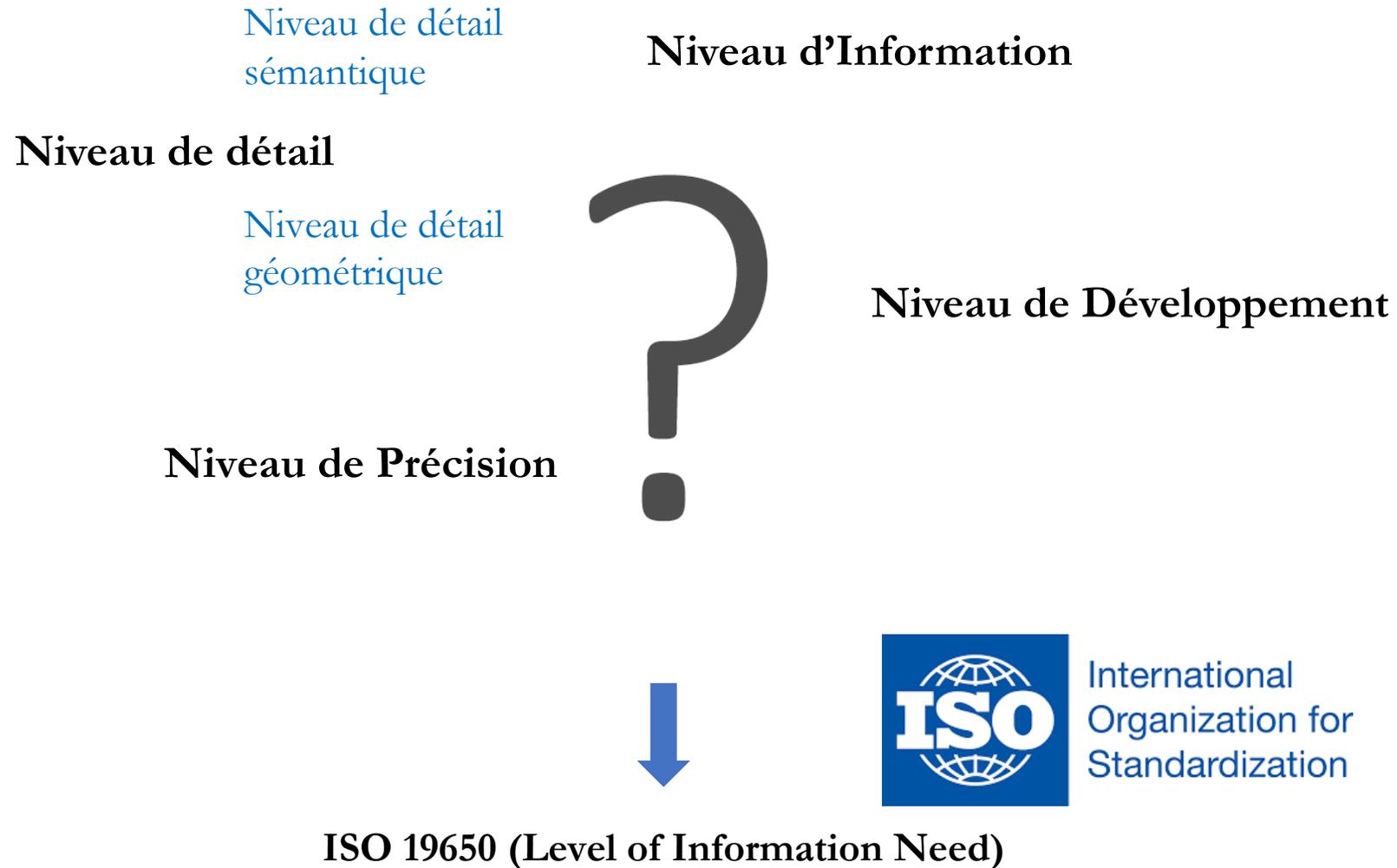
- **LoD: Level of Development**
- **LoI: Level of Information**
- Le LoD inclut à la fois:
 - La représentation géométrique
 - Le niveau d'information



IFC- LoD : Level of Development

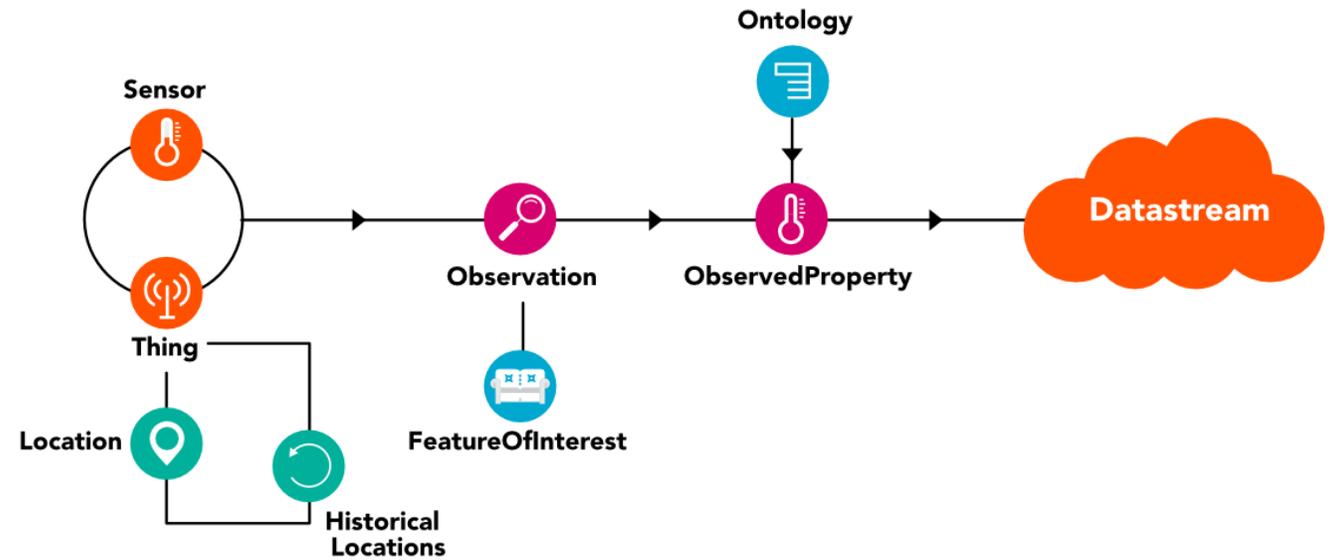


Du LoD au LoI-Need



SensorThings API

- Standard ouvert développé par l'OGC
- API pour publier des données interopérables.
- Structuration selon une BD relationnelle
 - Modèle générique.
 - Actuellement version 1.1.
- Connection de plusieurs capteurs ayant des protocoles différents.



C o n c l u s i o n

Défis du jumeau numérique urbain

- Pas encore de consensus sur la définition du concept.
- Défis Conceptuels & Techniques
 - Coût d'acquisition des données
 - Traitement de données massives
 - Mise à jour et maintenance
 - Données hétérogènes – multi-temporelles (versions) et multi-échelles
 - Différents schémas + différentes qualités
 - Différents formats et standards
 - Intéropérabilité de la convergence des domaines BIM et SIG

Questions ??