

L'interopérabilité HBIM-SIG au service de l'étude archéologique du théâtre antique d'Orange : L'enjeu des données territoriales

S. Borel-Dubourg

Architecte, Docteure en architecture, IR en archéologie

M. Panneau

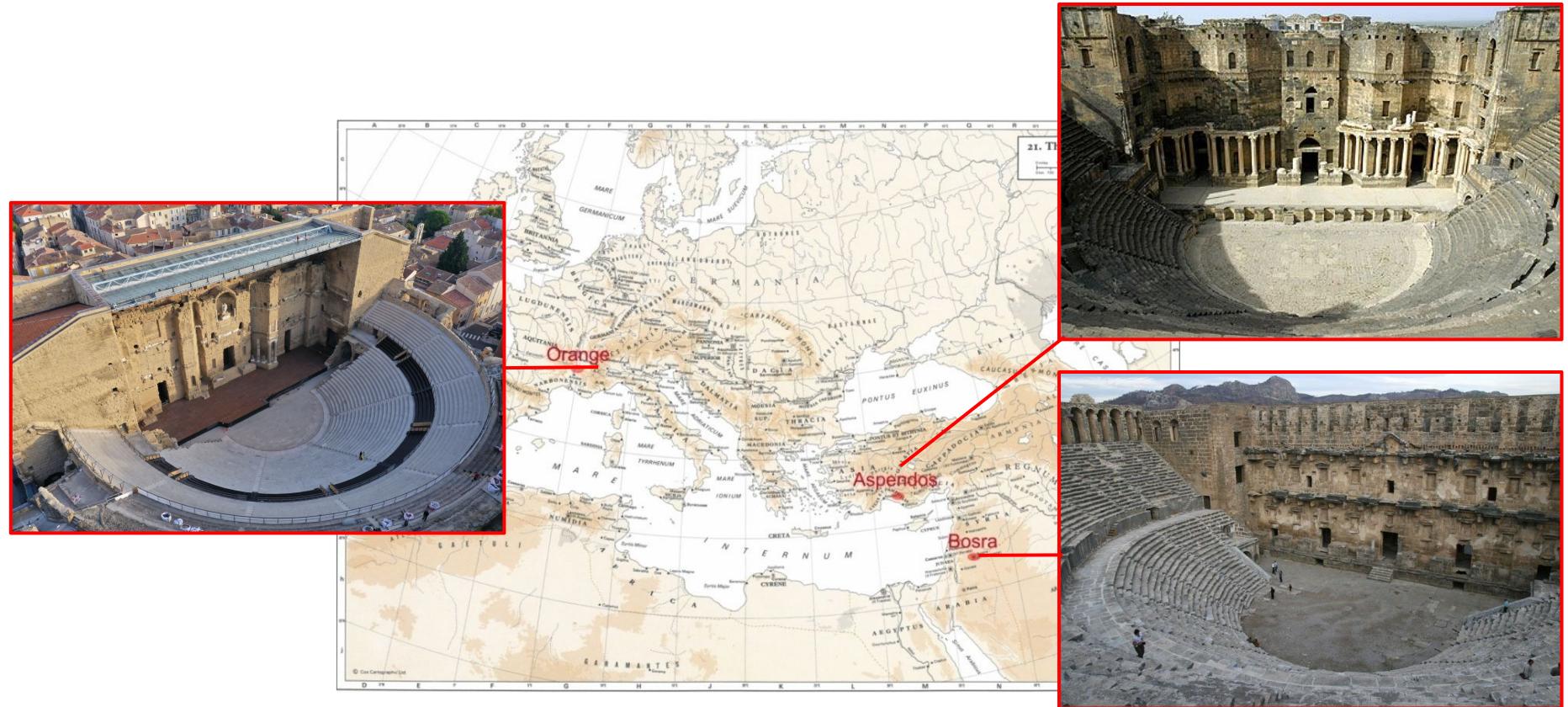
Archéologue, Doctorant CIFRE IRAA - A-BIME

F. Beguet

Post-doctorant en informatique

Institut de Recherche sur l'Architecture Antique (UAR 3155)
CNRS, Aix Marseille Univ, Aix-en-Provence, France.

Contexte :



Bâtiment majeur de l'histoire de l'architecture - Grand équipement culturel contemporain - Inscrit sur la liste du Patrimoine Mondial de l'UNESCO

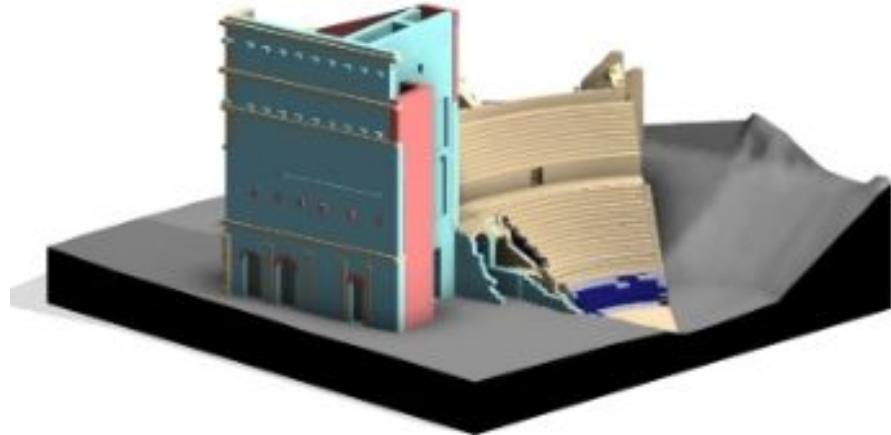
Suivi archéologique des travaux de
restauration

2016-2024



Projet TAIC
“Un Théâtre Antique Intelligent et Connecté”

2022-2025



Suivi archéologique des travaux de restauration

2016-2024

Architectes

Archéologues

Géologues

Géomaticien

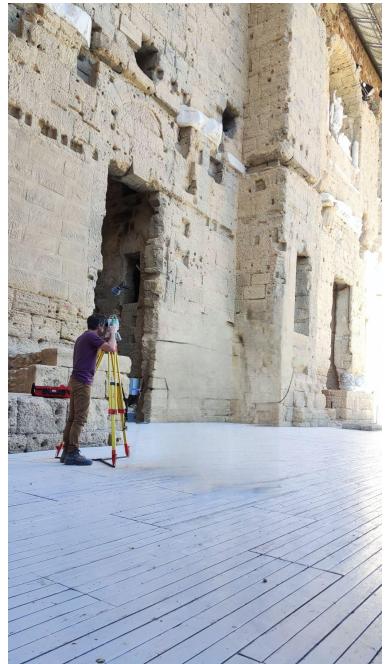
Archéomètres



Suivi archéologique des travaux de restauration 2016-2024

Méthode d'acquisition

Levers
topographiques



Photogrammétrie



Lasergrammétrie

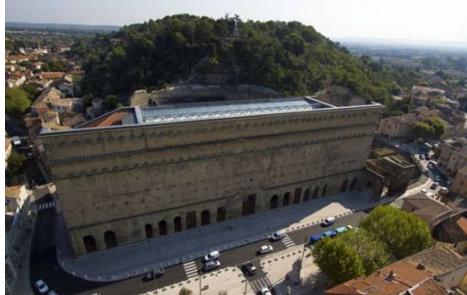


Relevés
architecturaux



Contexte : un bâtiment complexe

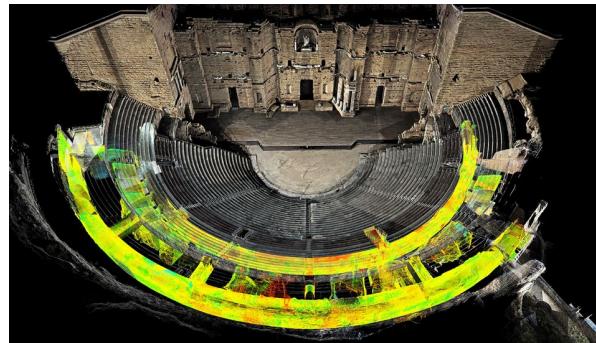
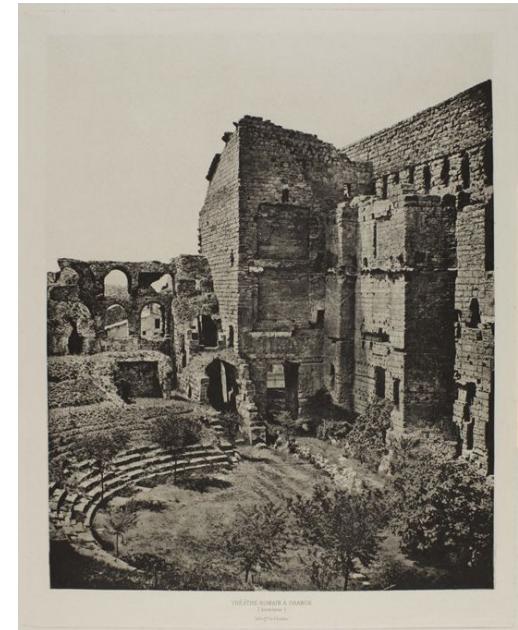
Plusieurs niveaux



Adossé à la colline



Éléments détruits,
déformés, enfouis



Contexte : un bâtiment qui évolue au fil du temps

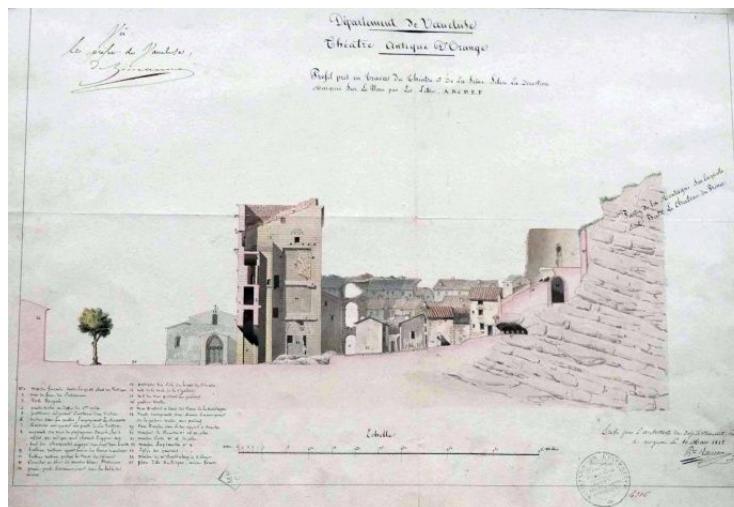
Antiquité

- Construction
- Effondrements / Incendies
- Reconstructions



Périodes médiévale et moderne

- Destructions partielles
- Aménagements



Époque contemporaine

- Restaurations
- Reconstructions



Contexte : un bâtiment qui évolue au fil du temps

Antiquité

Périodes médiévale et moderne

Époque contemporaine



Depuis 1869, le théâtre accueille le festival des Chorégies et a repris sa fonction d'édifice de spectacle.

En tant qu'édifice recevant du public, il fait régulièrement l'objet de travaux d'entretien, de restauration et de mise en sécurité.

Contexte : un bâtiment qui évolue au fil du temps

Antiquité

Périodes médiévale et moderne

Époque contemporaine



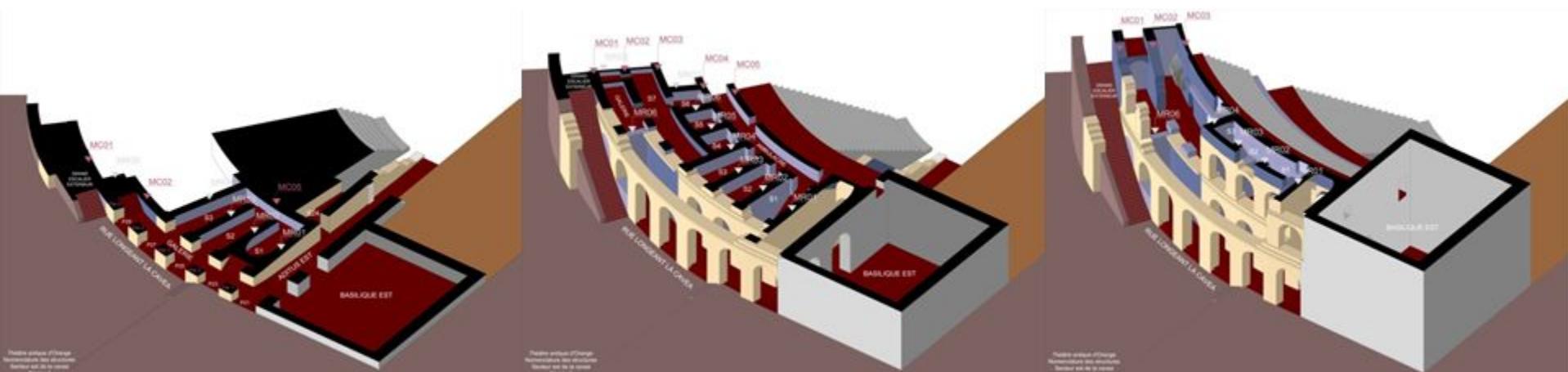
Le théâtre antique est un monument historique majeur, sous la surveillance des services du Ministère de la Culture, étudié par les chercheurs et géré par le service de patrimoine de la ville d'Orange, d'où la nécessité d'un système d'information intégré.

Contexte : le recours à la maquette numérique

Etat actuel du bâti

Maquette d'étude structure

Hypothèse de restitution



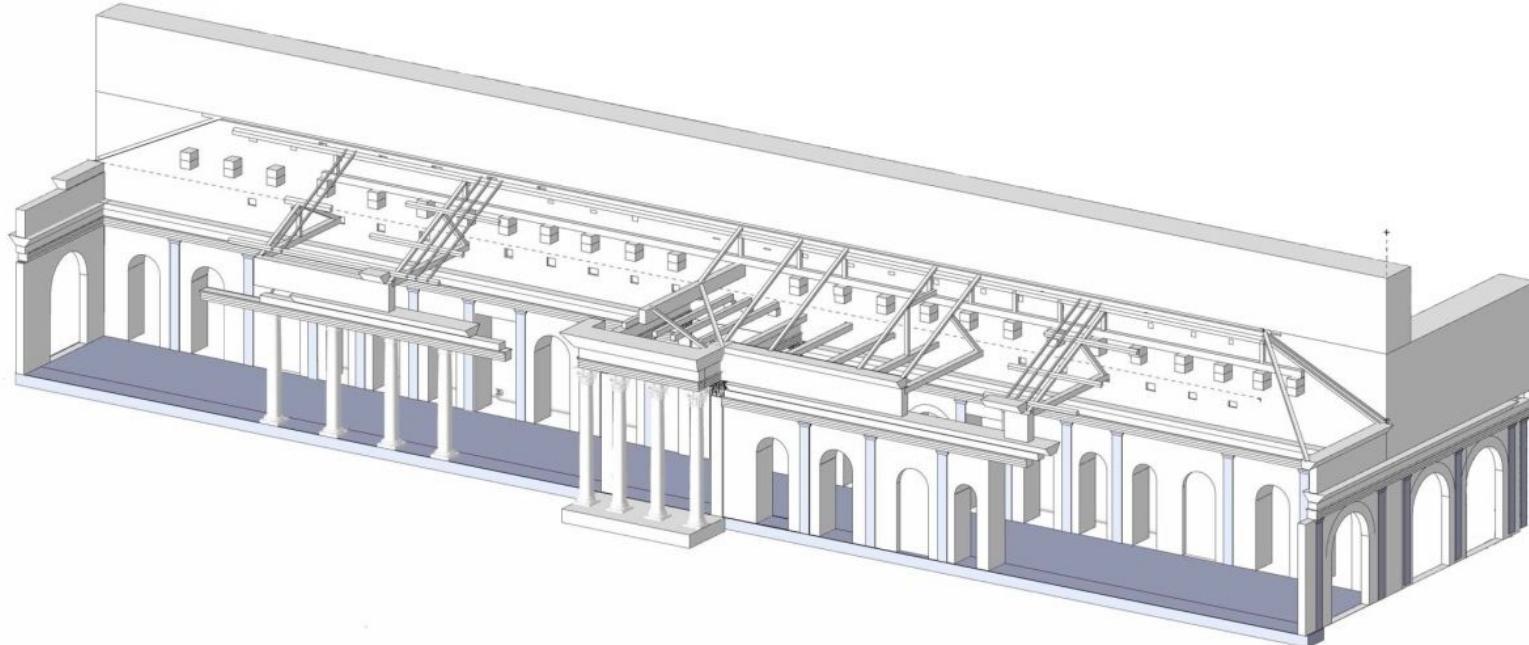
Etude des structures porteuses du secteur est de la cavea,
2019-2021

Contexte : le recours à la maquette numérique

Etat actuel du bâti

Maquette d'étude structure

Hypothèse de restitution



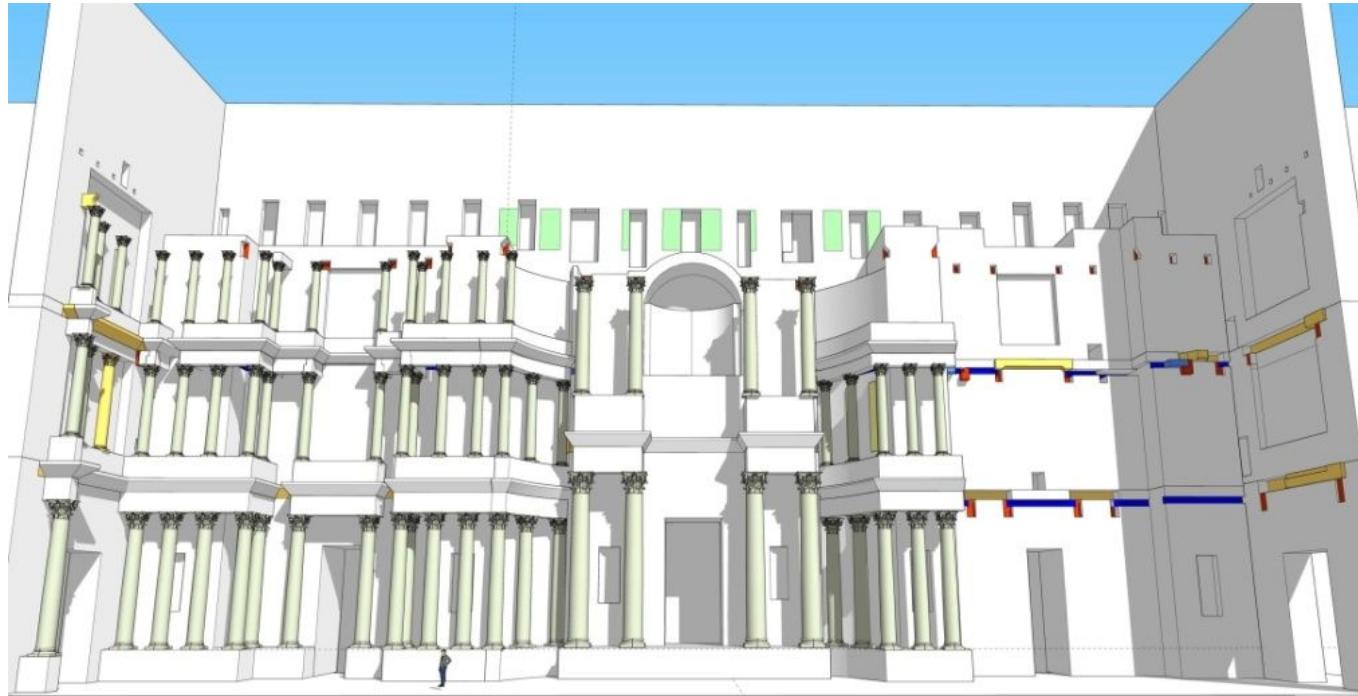
Etude de la charpente de la porticus post-scaenam,
2017-2018

Contexte : le recours à la maquette numérique

Etat actuel du bâti

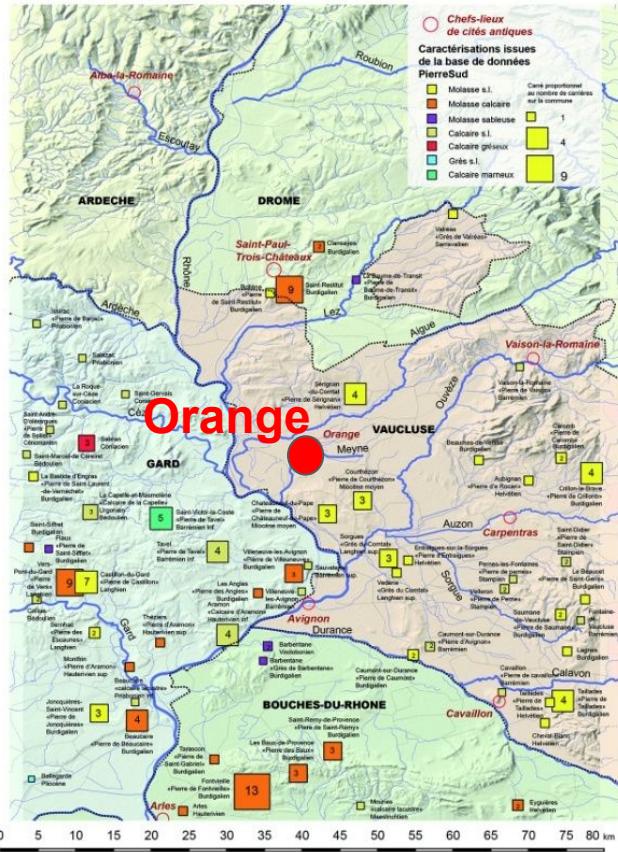
Maquette d'étude structure

Hypothèse de restitution



Etude du décor du front de scène,
2018-2019

Contexte : un bâtiment intégré dans le territoire



La ville antique n'est pas une entité isolée dans le territoire, elle s'inscrit dans un maillage économique, politique et structurel plus large. La ville et ses monuments ont des aires d'influences plus ou moins étendues, les cartographier est essentiel.

Cela permet d'obtenir des informations sur :

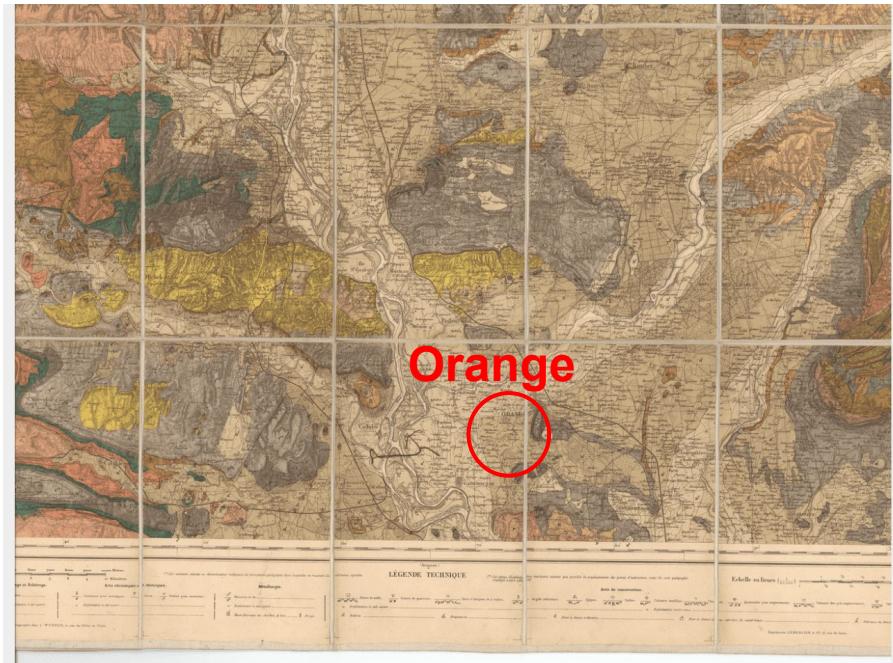
- Le niveau de richesse de l'économie locale/ régionale
- Les transports (voies et modes de communication)
- L'origine d'approvisionnement des matériaux de construction (carrières de pierre)
- Les techniques de construction
- Modalité d'acheminements, de stockage et de mise en œuvre des matériaux...

Contexte : un bâtiment intégré dans le territoire

Toutes les sources d'informations sont utiles, des plus anciennes au plus complexes, des plans papiers aux données lidar HD. Les données du paysage occupent une place importante.

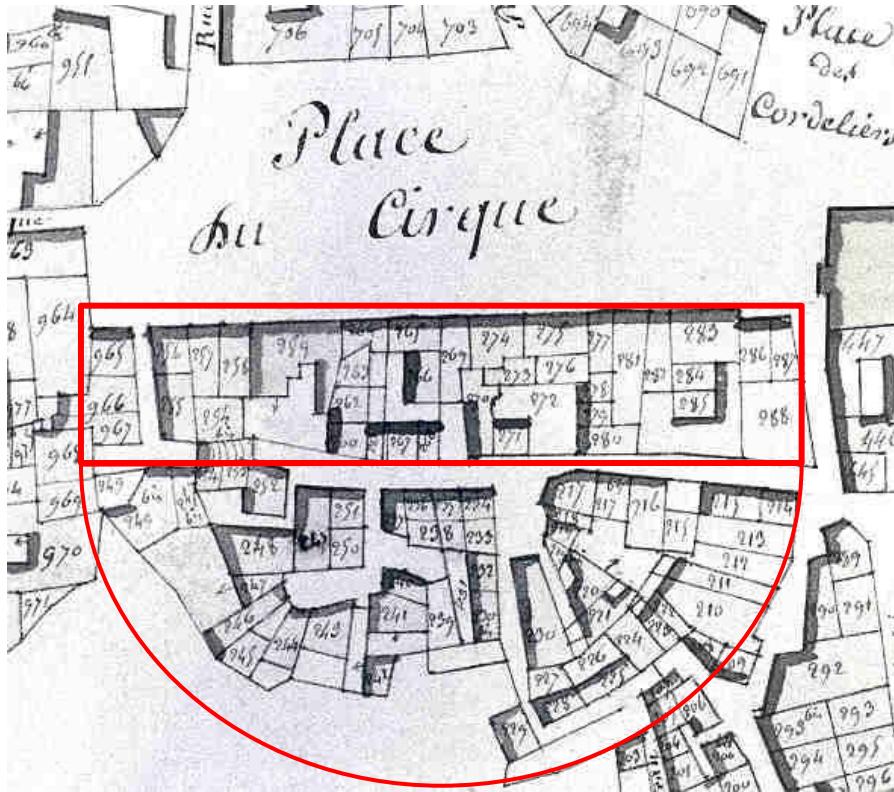


Carte géologique actuelle



Carte géologique de 1867

Contexte : un bâtiment intégré dans le territoire

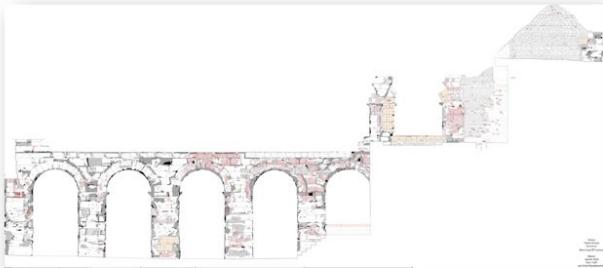


À l'échelle du bâtiment, son environnement direct est, lui aussi, cartographié.

La superposition avec les plans anciens fournit des informations précieuses.

Les sources

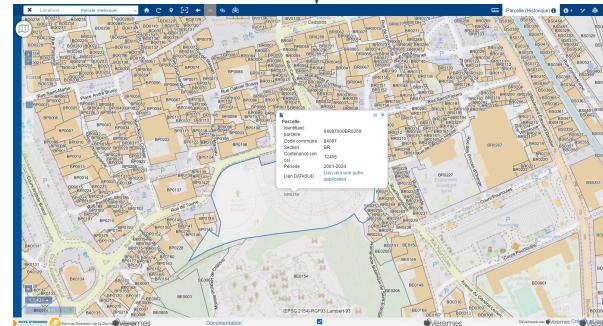
Le monument



Les données anciennes



SIG de la ville d'Orange



Données Lidar



Une approche transversale

SHS

Informatique graphique

Géomatique

Bâtiment

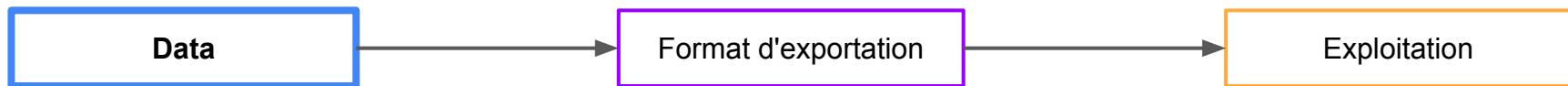
Gestion patrimoniale

- | | | | | |
|----------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------|
| → Archéologie | → Modélisation géométrique | → Gestion des données spatiales | → Entretien | → Conservation |
| → Architecture | → Base de données | | → Restauration | → Exploitation |
| | | | → Mise aux normes | → Médiation |

Problématiques

- **Comment intégrer l'information territoriale dans le système d'information ?**
- Comment comprendre le fonctionnement spatial d'un bâtiment structurellement complexe et permettre l'utilisation de simulations pour tester des hypothèses de reconstruction, comme les charpentes en bois ?
- Comment établir des relations entre des données hétérogènes et s'assurer que les données d'entrée et de sortie sont dans des formats ouverts et accessibles aux différents utilisateurs du système, y compris les chercheurs et le personnel de gestion du patrimoine ?
- Comment intégrer des informations temporelles dans le système d'information pour représenter l'état du bâtiment à différentes périodes et faire en sorte que le système puisse intégrer de nouvelles données au fur et à mesure de l'avancement des recherches ?

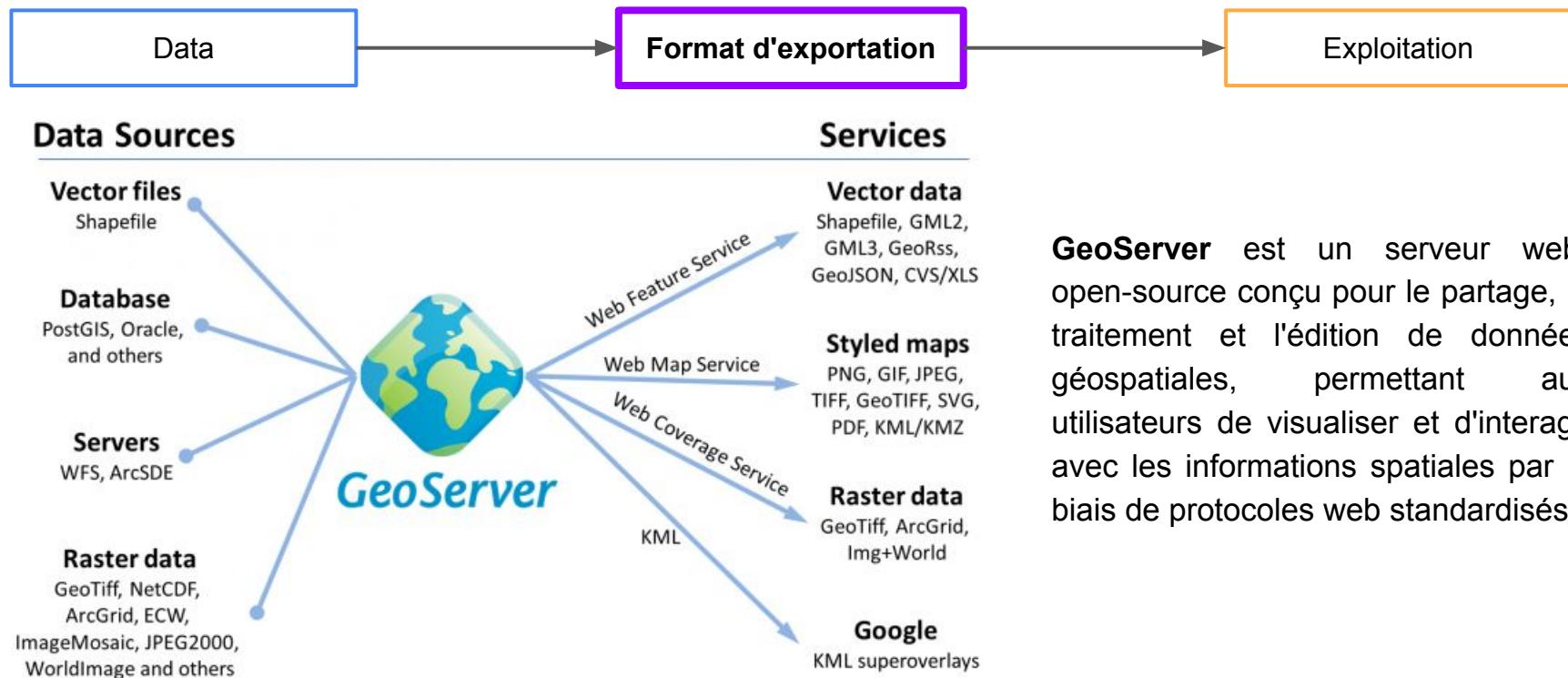
Système d'information géographique (SIG)



- Raster
- Vector Data
- DataBase

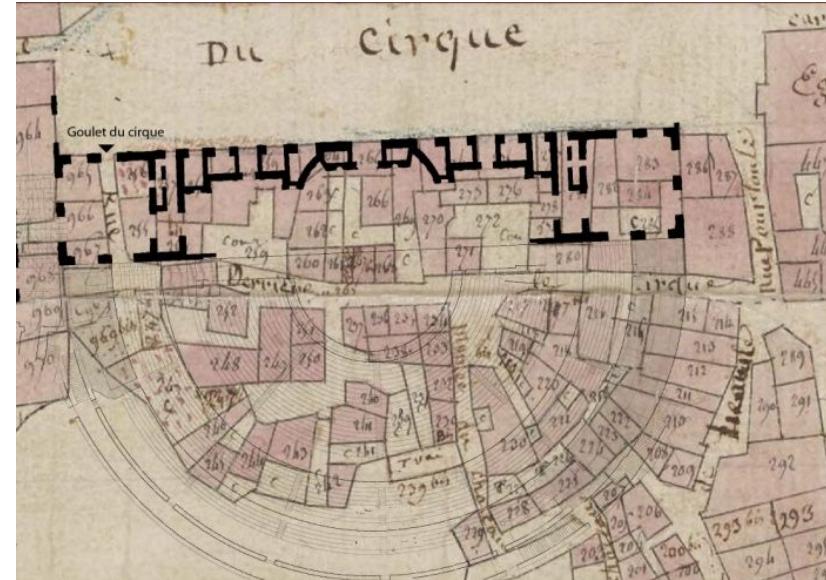
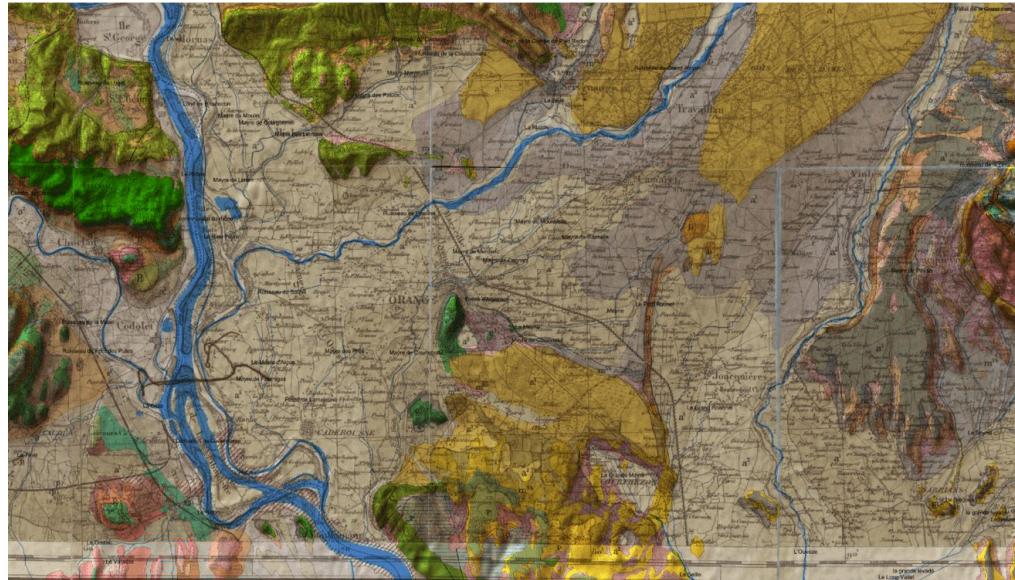


Système d'information géographique (SIG)



GeoServer est un serveur web open-source conçu pour le partage, le traitement et l'édition de données géospatiales, permettant aux utilisateurs de visualiser et d'interagir avec les informations spatiales par le biais de protocoles web standardisés.

Système d'information géographique (SIG)



Problématiques

- Comment intégrer l'information territoriale dans le système d'information ?
- **Comment comprendre le fonctionnement spatial d'un bâtiment structurellement complexe et permettre l'utilisation de simulations pour tester des hypothèses de reconstruction, comme les charpentes en bois ?**
- Comment établir des relations entre des données hétérogènes et s'assurer que les données d'entrée et de sortie sont dans des formats ouverts et accessibles aux différents utilisateurs du système, y compris les chercheurs et le personnel de gestion du patrimoine ?
- Comment intégrer des informations temporelles dans le système d'information pour représenter l'état du bâtiment à différentes périodes et faire en sorte que le système puisse intégrer de nouvelles données au fur et à mesure de l'avancement des recherches ?

Modélisation des données des bâtiments patrimoniaux (HBIM)

Le processus BIM implique la création et la gestion de modèles numériques 3D complets qui capturent les aspects physiques et fonctionnels d'un bâtiment, facilitant ainsi la collaboration, l'efficacité et la prise de décision tout au long du cycle de vie du bâtiment.



Modélisation des données des bâtiments patrimoniaux (HBIM)



Les données patrimoniales couvrent les informations sur les sites du patrimoine culturel, y compris les documents historiques, les découvertes archéologiques, les plans architecturaux, les photographies et les nuages de points, utilisés pour l'étude, la préservation et la gestion du patrimoine culturel.



Acquisition LiDAR (TLS)

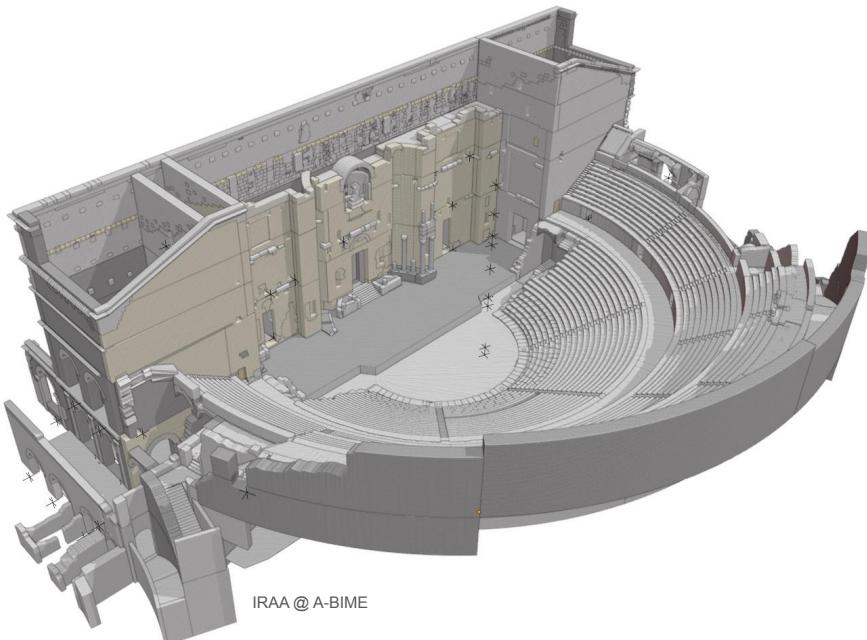


Plan du bâtiment de scène (IRAA 2019)



Plan de Caristie (1856)

Modélisation des données des bâtiments patrimoniaux (HBIM)



Les différents éléments d'un bâtiment sont modélisés à l'aide de données géométriques, dont les plus courantes sont:

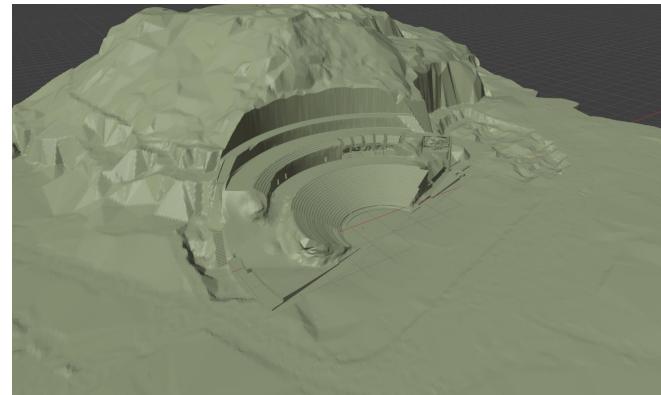
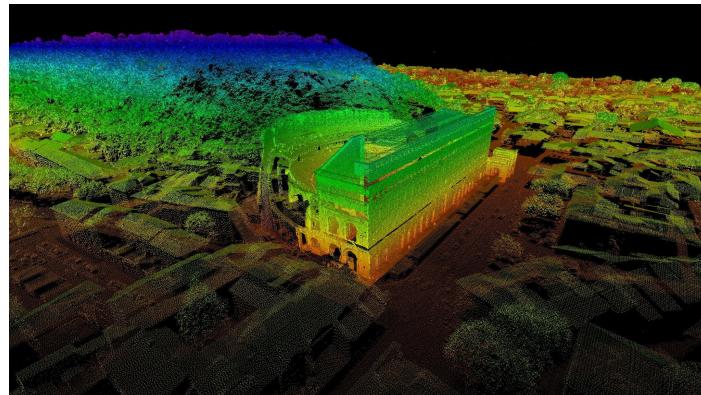
- Les composants architecturaux (mur, toit, dalle...),
- les systèmes mécaniques (chauffage, ventilation...)
- Les systèmes électriques,
- les systèmes de plomberie

Modélisation des données des bâtiments patrimoniaux (HBIM)

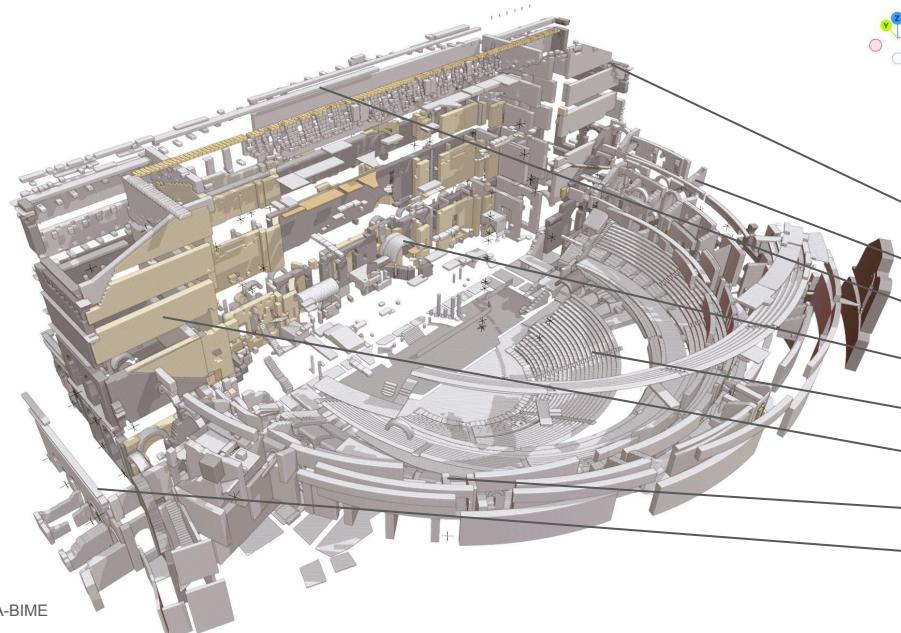


Contexte spatial, paysage et environnement

L'environnement autour du bâtiment est aussi important que le monument, il est intégré à la modélisation. Un processus d'acquisition et de traitement approprié a été mis en œuvre.



Modélisation des données des bâtiments patrimoniaux (HBIM)



Des propriétés sont ensuite ajoutées à ces éléments, telles que :

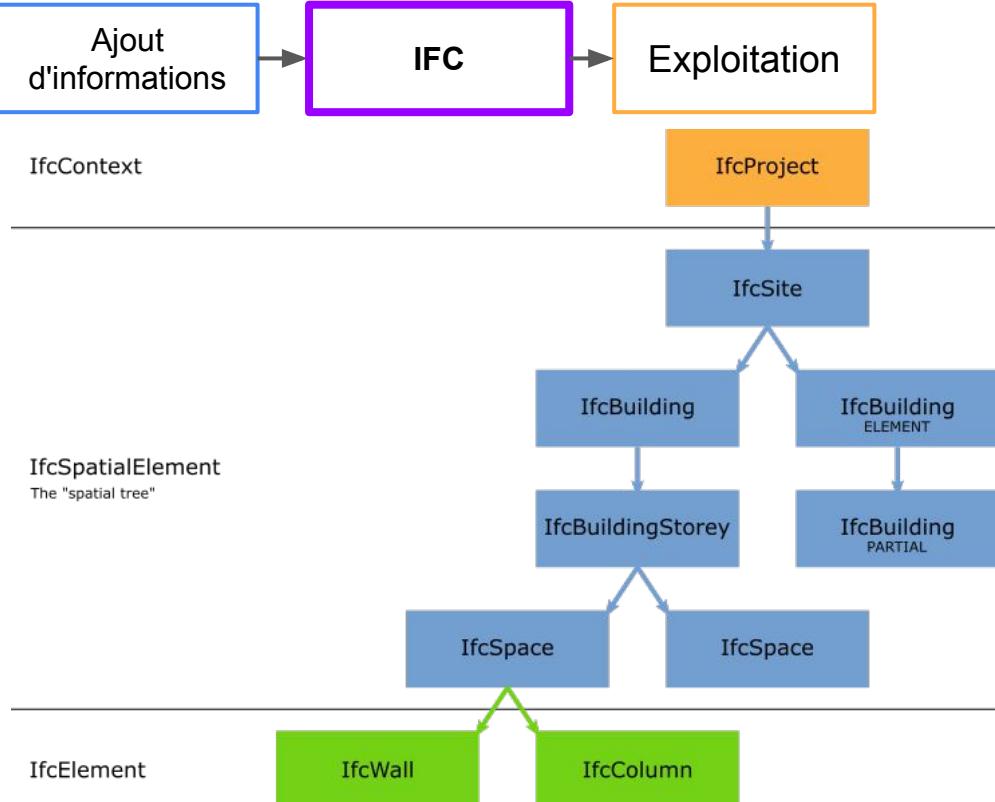
- Propriétés des matériaux
- Propriétés structurelles
- Propriétés mécaniques
- Propriétés électriques
- Propriétés thermiques
- Résistance au feu
- Propriétés acoustiques
- Propriétés archéologiques
- ...

Modélisation des données des bâtiments patrimoniaux (HBIM)

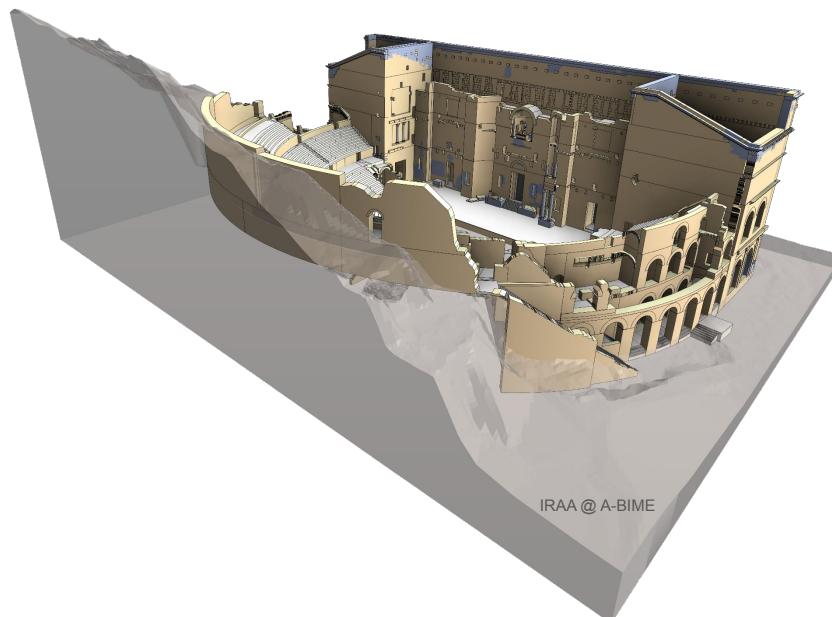


IFC (Industry Foundation Classes) est un format de données ouvert et normalisé utilisé dans le BIM pour faciliter l'interopérabilité et l'échange d'informations entre diverses applications logicielles et utilisateurs dans les secteurs de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction.

La structure **IFC** est organisée de manière hiérarchique. Chaque composant contient des propriétés et des relations spécifiques afin de garantir une représentation complète et normalisée des données.



Heritage Building Information Modeling (HBIM)

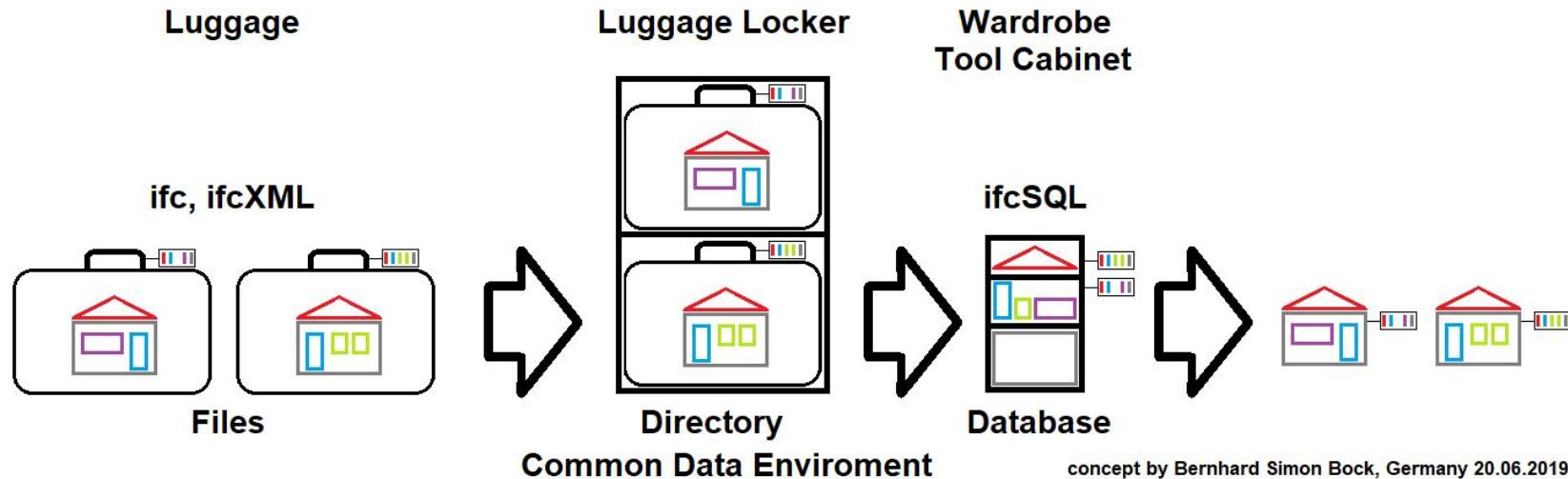


IRAA @ A-BIME

Problématiques

- Comment intégrer l'information territoriale dans le système d'information ?
- Comment comprendre le fonctionnement spatial d'un bâtiment structurellement complexe et permettre l'utilisation de simulations pour tester des hypothèses de reconstruction, comme les charpentes en bois ?
- **Comment établir des relations entre des données hétérogènes et s'assurer que les données d'entrée et de sortie soient dans des formats ouverts et accessibles aux différents utilisateurs du système, y compris les chercheurs et le personnel de gestion du patrimoine?**
- **Comment intégrer des informations temporelles dans le système d'information pour représenter l'état du bâtiment à différentes périodes et faire en sorte que le système puisse intégrer de nouvelles données au fur et à mesure de l'avancement des recherches ?**

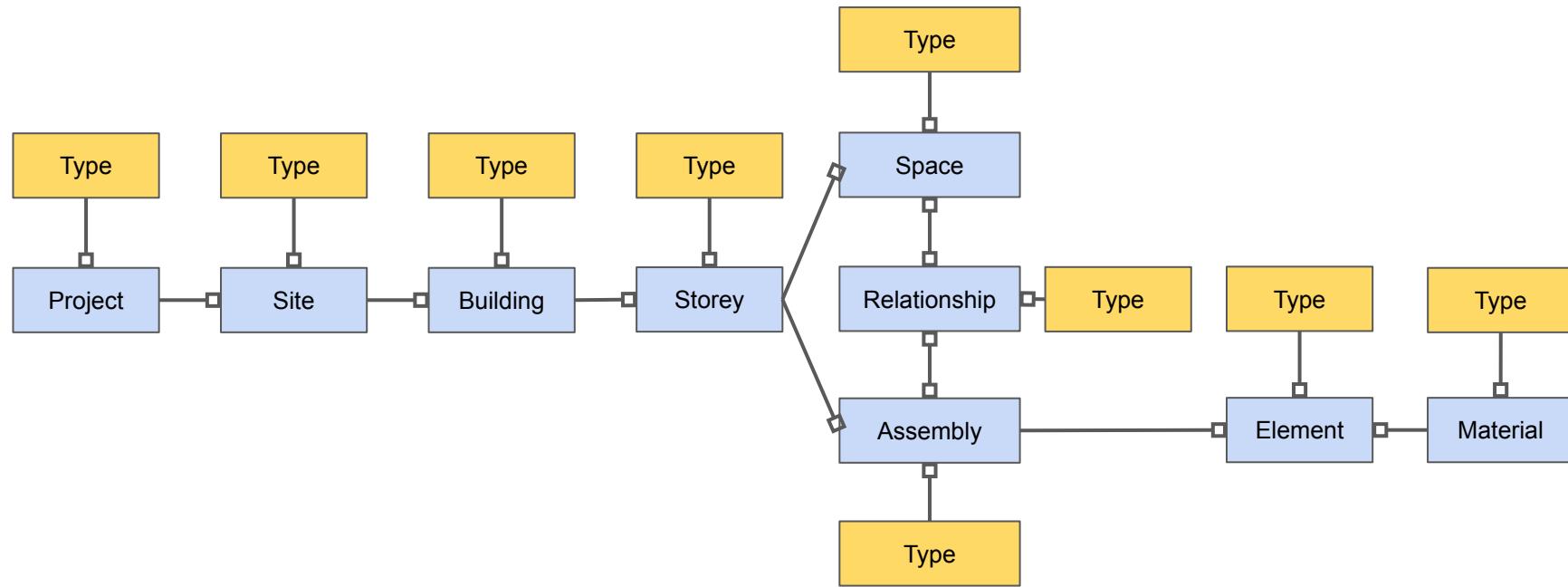
Méthodologie : IFC vers Base De Données



- L'inadéquation de l'impédance objet-relationnel (*object-relational impedance mismatch*), c'est à dire la difficulté à concilier les modèles de données relationnels (tables) et les systèmes orientés objet (classes), entraînant des complexités de mapping, des pertes de performance et des contraintes architecturales.
- IfcSQL propose une solution en mysql mais difficilement maintenable et requêteable de par la complexité du modèle IFC. MySQL n'est pas pleinement compatible avec des données géoréférencées empêchant la pleine compatibilité avec Geoserver (extension non maintenue).

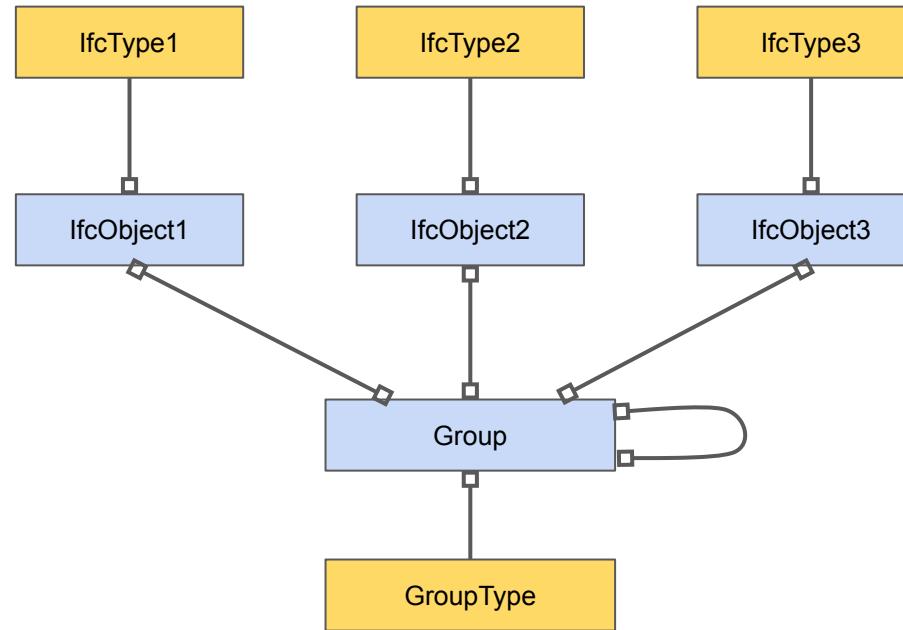
Méthodologie : IFC vers Base De Données

Nous avons choisi de créer deux table par objet ifc, une contenant les entités et une pour les types. Le schéma a été également rigidifié pour garder les relations essentielles entre objets, simplifiant les requêtes.



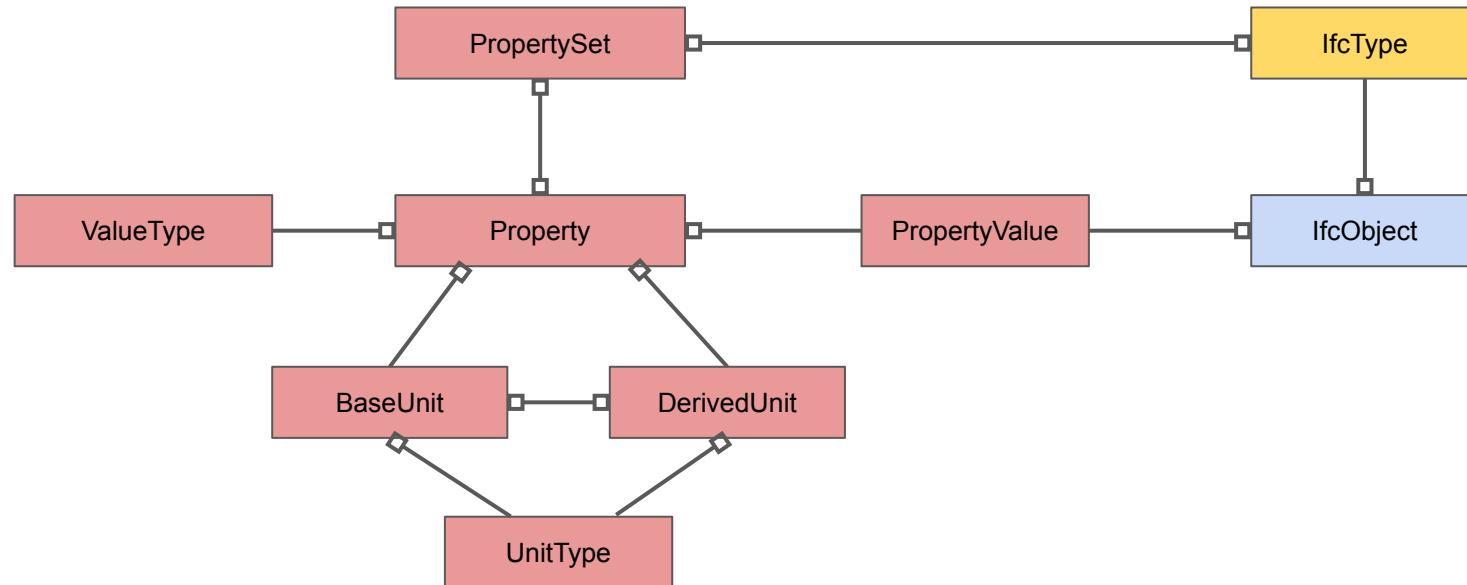
Méthodologie : IFC vers Base De Données

Pour faciliter les requêtes à partir de connaissances métiers, une table groupe est créée et associée à toutes les tables objets Ifc.



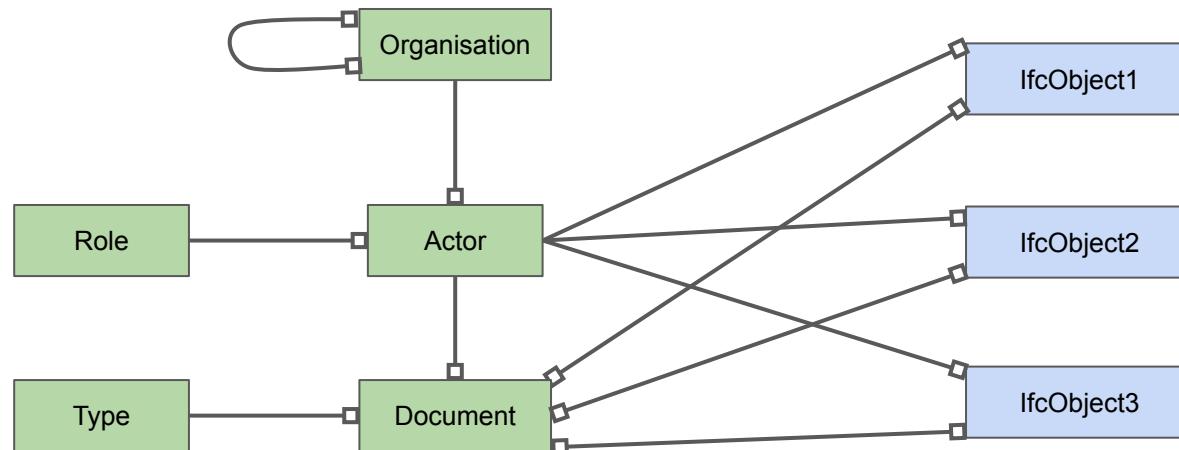
Méthodologie : IFC vers Base De Données

Les jeux de propriétés sont associés aux types des objets IFC tandis que les propriétés avec leurs valeurs sont associées aux objets directement.

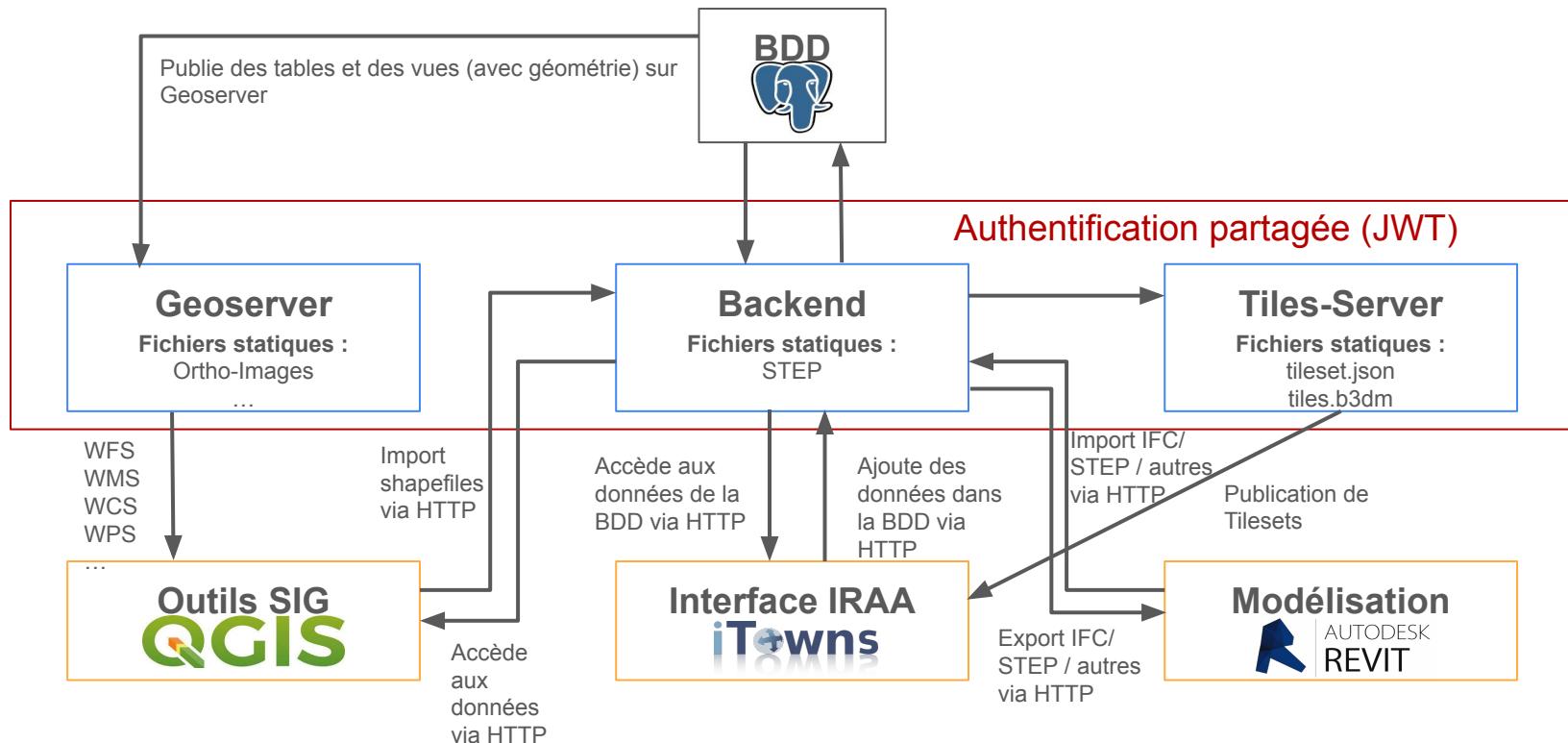


Méthodologie : IFC vers Base De Données

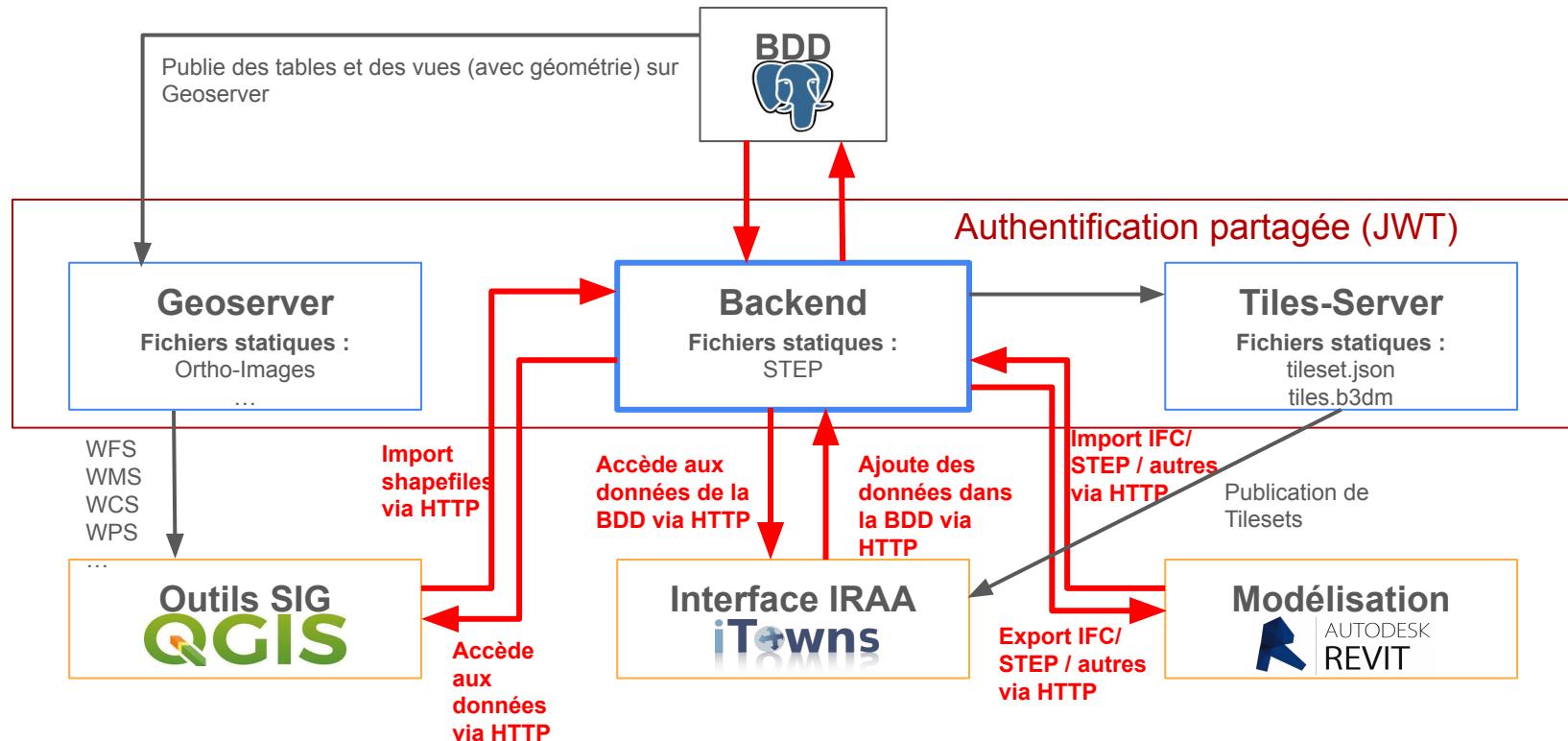
Enfin une partie de la base de donnée est dédiée aux acteurs, organisations et documents externes (images, sites, fichiers statiques...). Permettant également la gestion des authentifications et restrictions d'accès.



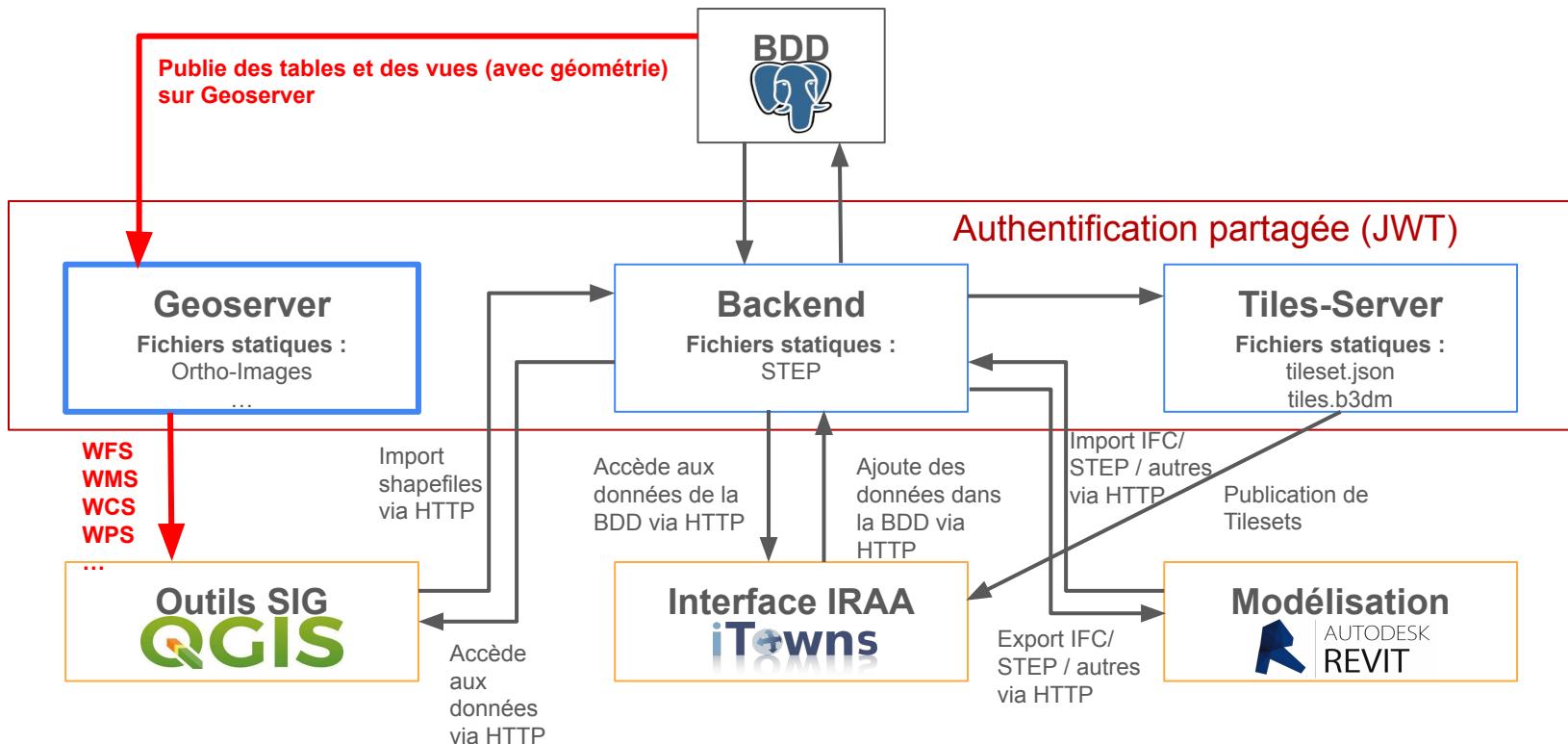
Architecture proposée



Architecture proposée : Backend

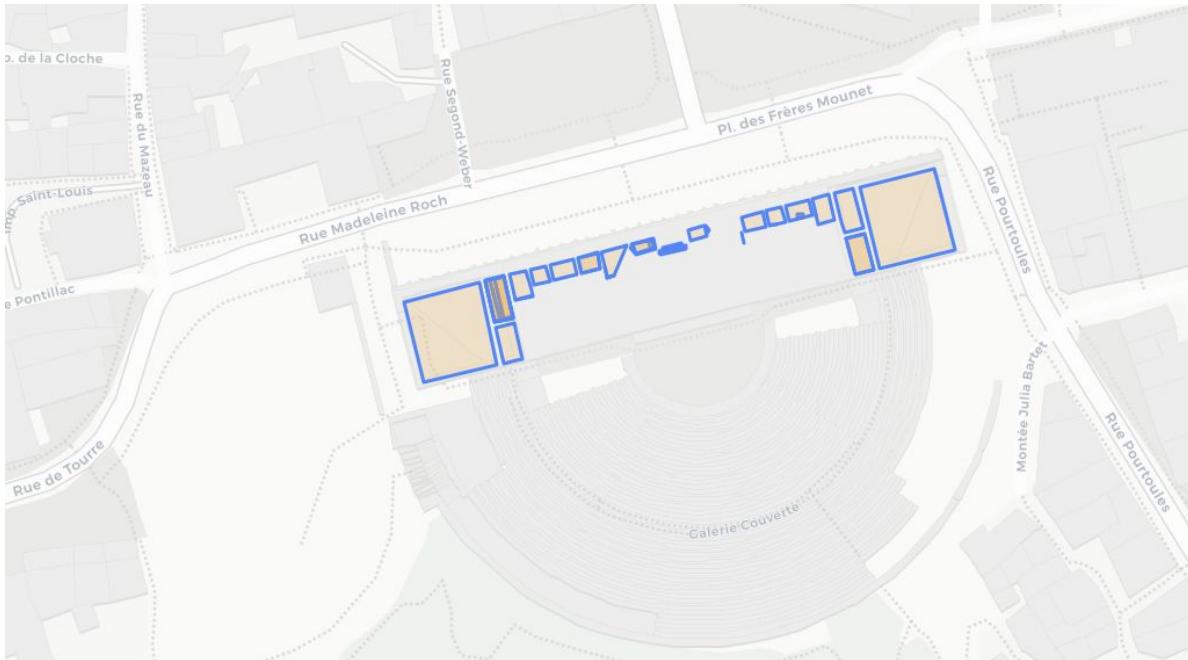


Architecture proposée : Geoserver

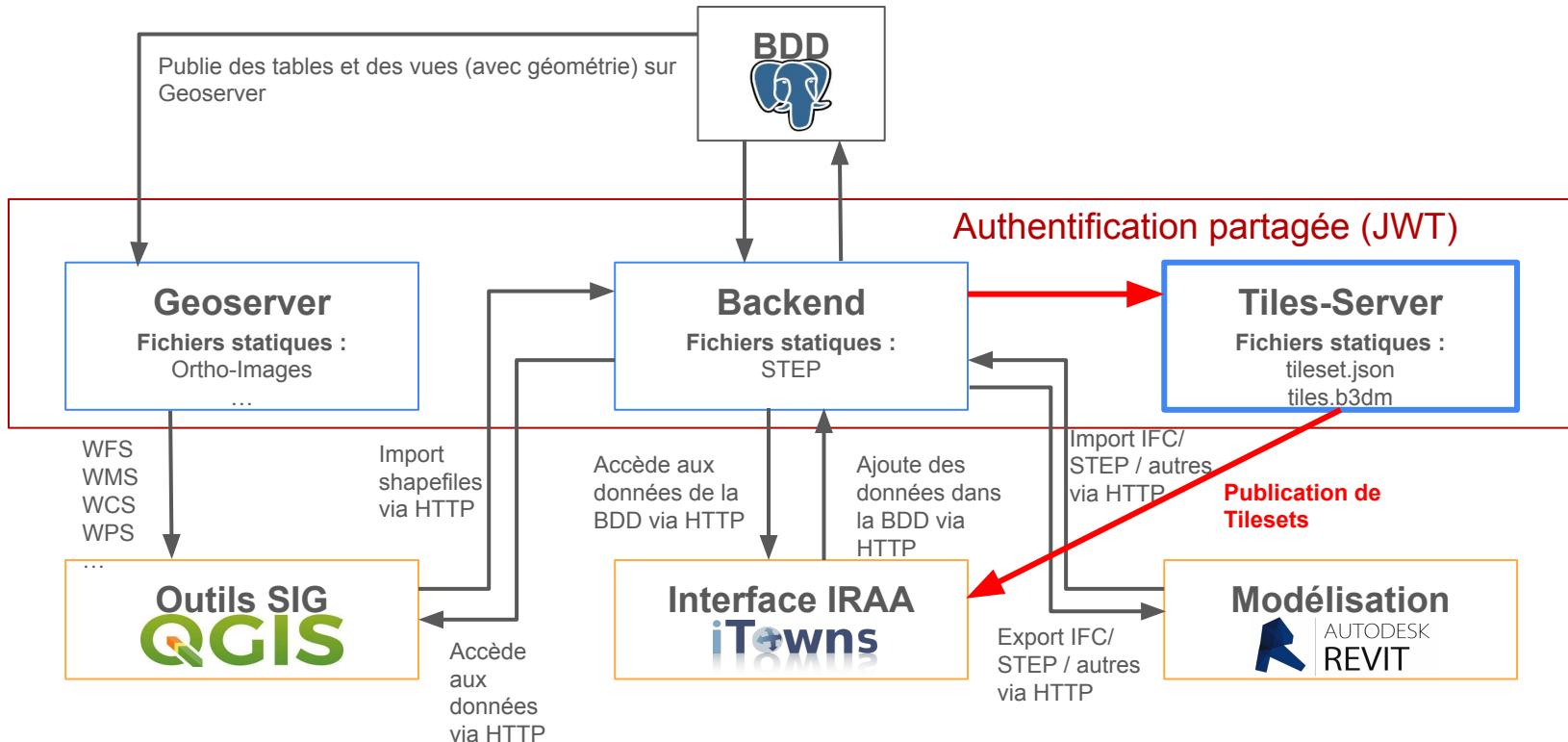


Architecture proposée : Geoserver

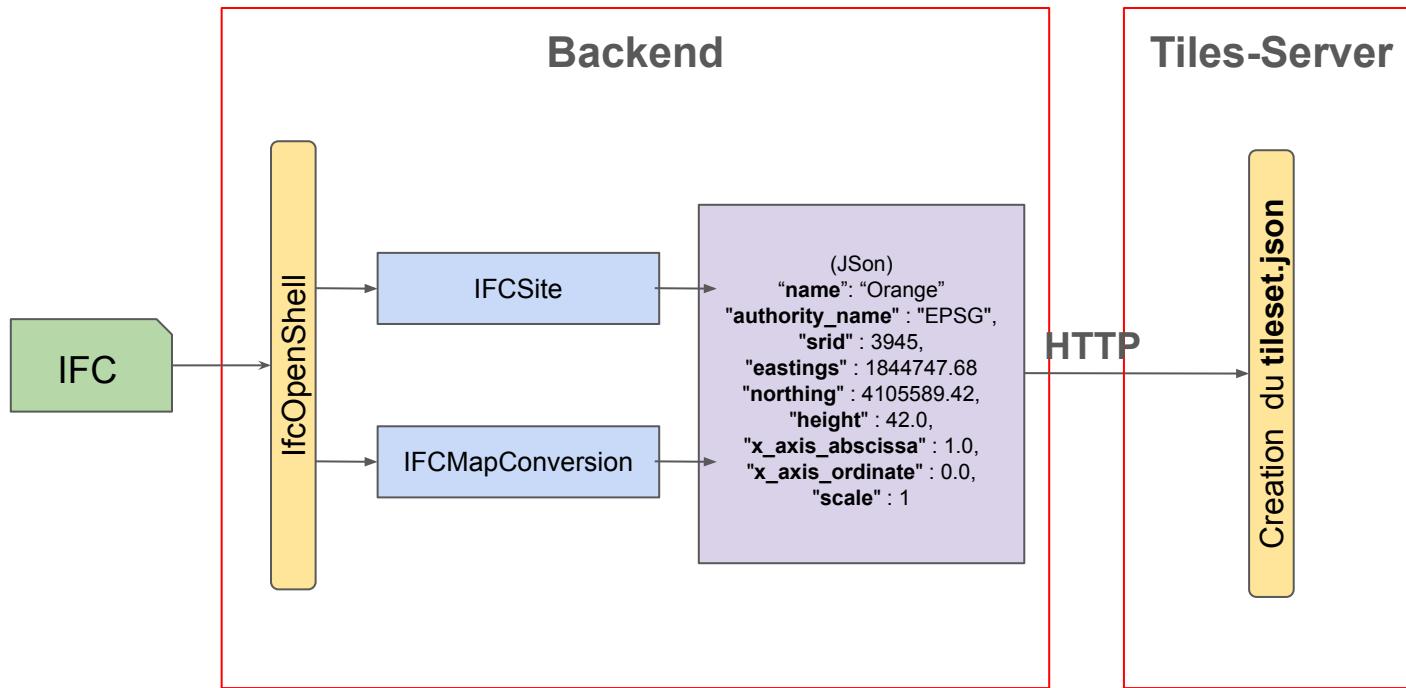
Puisque la base de donnée est en postgresql avec PostGIS, Geoserver peut directement publier les tables des objets Ifc disposant d'empreintes. Des vues peuvent être créées dans la base de donnée à partir du Backend pour la publication de couches avec des propriétés spécifiques.



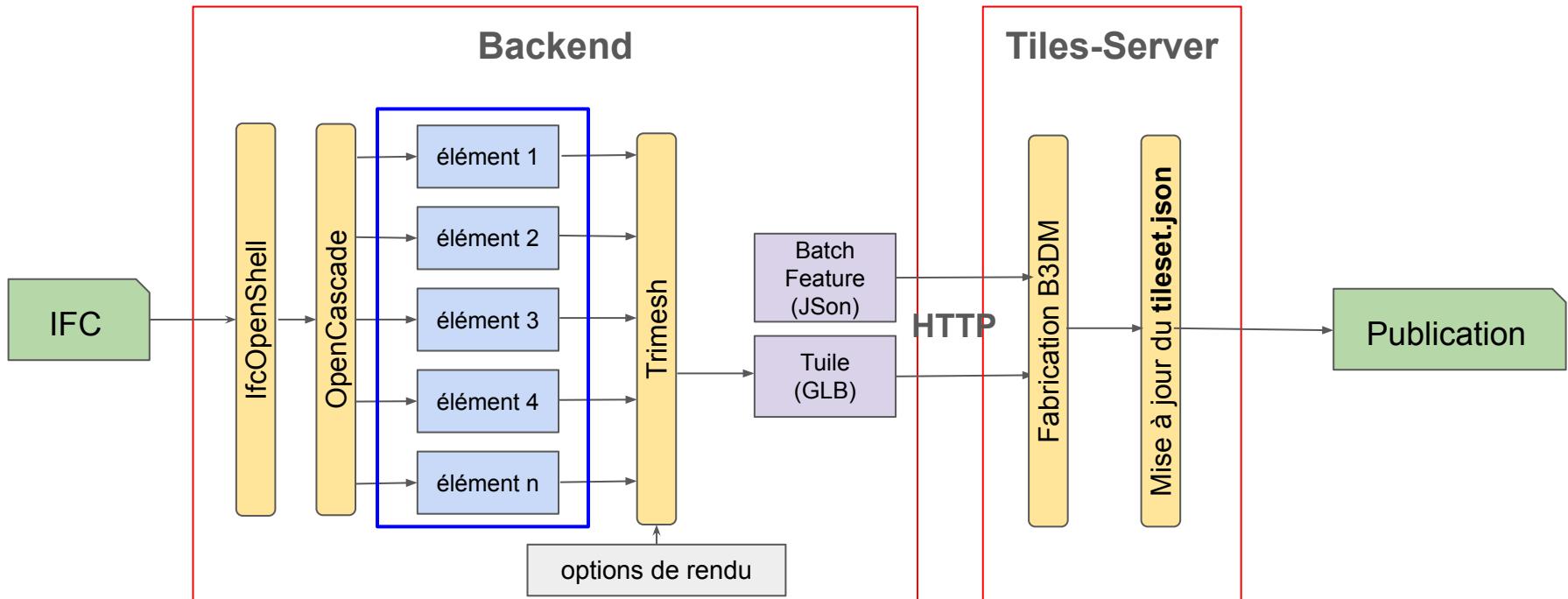
Architecture proposée : Tiles-Server



Architecture proposée : Tiles-Server



Architecture proposée : Tiles-Server



Interface IRAA avec Itowns

Premier prototype d'interface



Buildings

- Théâtre antique d'Orange

Conclusion

Nous avons discuté des différents défis liés au développement d'un système d'information intégré pour la gestion scientifique et patrimoniale du théâtre antique d'Orange, et nous avons proposé une architecture open-source pour les relever.

Le projet TAIC est un projet scientifique autour de l'étude et de la modélisation du théâtre antique d'Orange (Théâtre antique intelligent et connecté), soutenu par la fondation A*MIDEX (Aix-Marseille université).

Pour en savoir plus sur ce projet : <https://taic.hypotheses.org/>