

**Institut de Recherche sur l'Architecture Antique**  
*Maison de la Méditerranée et des sciences de l'homme*  
5 Rue Château de l'Horloge, 13090 Aix-en-Provence

**Le comité d'organisation :**

Alain Badie

[alain.badie@univ-amu.fr](mailto:alain.badie@univ-amu.fr)

Sandrine Dubourg

[sandrine.borel-dubourg@univ-amu.fr](mailto:sandrine.borel-dubourg@univ-amu.fr)

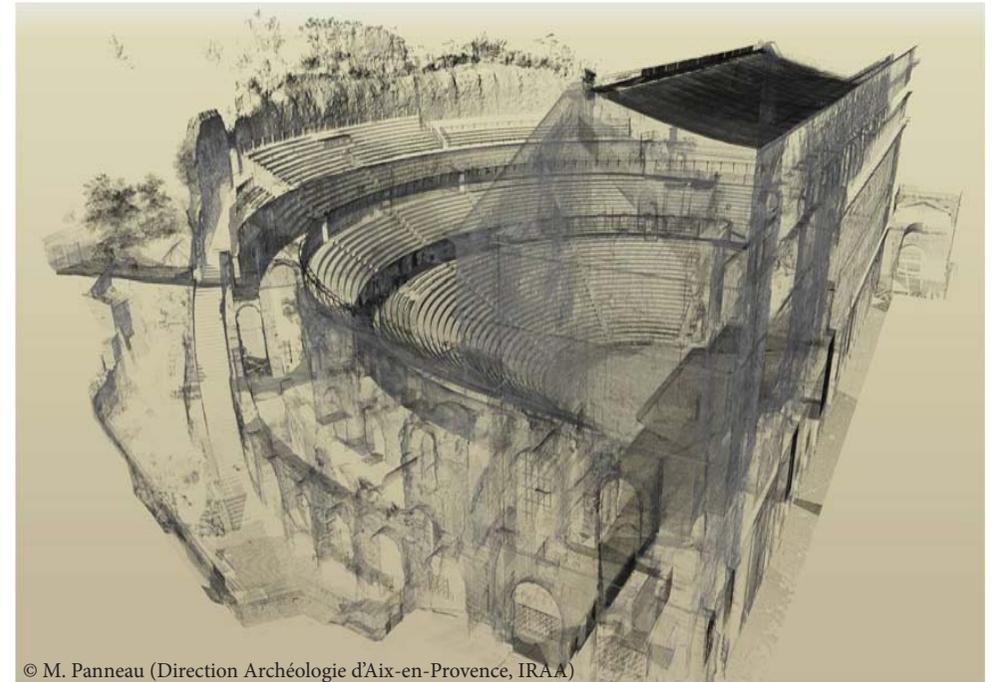
Corinne Rencurel

[corinne.rencurel@univ-amu.fr](mailto:corinne.rencurel@univ-amu.fr)



## Le théâtre antique d'Orange

### SIG et HBIM



**Journées d'étude organisées par**  
**l'Institut de Recherche sur l'Architecture Antique**  
**avec le soutien de la Fondation A\*Midex**

## Le théâtre antique d'Orange, SIG et HBIM

### Lundi 28 juin 2021

- 9h **Fr. Quantin, directeur de l'IRAA**  
*Ouverture des journées*
- Session 1 : Acquisition et diffusion numérique du patrimoine bâti pour l'étude archéologique et la gestion patrimoniale**
- 9h15 **A. Badie, S. Dubourg, J.-Ch. Moretti, D. Tardy, A. Papadopoulou, M. Panneau, M. Seguin (IRAA)**  
*Le projet TAIC - La question de l'adaptation du processus HBIM aux besoins spécifiques de l'étude archéologique du théâtre d'Orange*
- 10h15 **E. Rosso (Sorbonne Université), T. Bartette**  
*Le décor sculpté du théâtre d'Orange - de la numérisation des fragments aux hypothèses de restitution*
- 11h *Pause*
- 11h15 **R. Wieder (Architecture et Héritage)**  
*De la restauration des monuments historiques à la conservation des connaissances acquises*
- 11h45 **L. Cavalier (Ausonius, Université Bordeaux-Montaigne), J.-Fr. Bernard (IRAA, UPPA)**  
*ArchXant : des archives au modèle 3D, l'exemple du monument des Néréides de Xanthos*
- 12h15 **Questions – Discussion - Conclusion du modérateur**
- 12h30 *Déjeuner*
- Session 2 : SIG 2D/3D appliqués à l'archéologie**
- 14h **L. Bernard (Archimède, Université de Strasbourg)**  
*ArkeoGIS, retour d'expérience sur le partage de données spatialisées sur le passé*
- 14h30 **V. Brunet-Gaston (INRAP, IRAA), T. Menant (Grand Reims)**  
*La Porte de Mars à Reims : photogrammétrie et SIG, mise en place d'un Document Unique multi études*
- 15h00 **M. Panneau (Archéologie et Museum, Ville d'Aix-en-Provence)**  
*Les outils SIG de la Direction Archéologie*
- 15h20 **V. Picard (IRAA, UPPA), L. Carpentier (ArkeMine), S. Sicard (archéologue, Charente)**  
*Construire un SIG du sanctuaire des Bouchauds (Saint-Cybardeaux, Charente) : questions en cours*
- 15h40 **St. Delaguette (IRAA Aix-en-Provence)**  
*La science ouverte et les technologies numériques*
- 16h10 **Questions – Discussion - Conclusion du modérateur**
- 17h30 Fin de la journée

### Mardi 29 juin 2021

- 9h **J.-Ch. Moretti (IRAA Lyon), L. Fadin (EFA, Athènes)**  
*Le Web SIG de Délos (Grèce)*
- 9h30 Questions
- Session 3 : HBIM et interopérabilité SIG/HBIM**
- 9h45 **F. Rechichi (Università di Parma, Italie)**  
*Definizione e implementazione di un modello informativo per i beni culturali*
- 10h30 Questions
- 10h45 *Pause*
- 11h **R. Raffin (Aix-Marseille Université, LIS, CNRS)**  
*Indexation de documents dans une maquette numérique 3D : expérience du cloître Saint Trophime à Arles*
- 11h30 **D. Groux (A-Bime, Paris)**  
*H-BIM : expérimentations et premières ébauches de protocoles d'utilisation.  
« sans sémantique pas de H-BIM »*
- 12h10 **K. Jacquot (MAP Aria, Lyon)**  
*Regards croisés sur la maturité des pratiques BIM et HBIM*
- 12h30 **Questions - Discussion - Conclusion de S. Marques (LRA, ENSA Toulouse)**
- 13h *Déjeuner*
- 14h30 **A. Guillem (Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques)**  
*Le repérage spatio-temporel des claveaux des nervures effondrées de la cathédrale Notre-Dame : compréhension, extraction, analyse et l'intégration des données hétérogènes selon un modèle conceptuel*
- 14h50 **A.-M. Bellenger, A. Blandin (Bellenger Blandin Avocats)**  
*Le HBIM sous l'angle du droit*
- 15h50 Questions
- Session 4 : Le projet TAIC 2**
- 16h15 **Discussion autour du projet TAIC2 avec les partenaires concernés**  
- Réalisation d'un SIG du théâtre et de ses abords  
- La mise en oeuvre du processus HBIM pour l'ensemble monumental : adaptation de l'outil aux besoins des archéologues  
- La question de l'interopérabilité des deux outils
- 17h15 **Conclusion du modérateur**
- 17h30 Fin de la journée

## Session 1 : Acquisition et diffusion numérique du patrimoine bâti pour l'étude archéologique et la gestion patrimoniale

**A. Badie, S. Dubourg, J.-Ch. Moretti, D. Tardy, A. Papadopoulou, M. Panneau, M. Seguin (IRAA)**

*Le projet TAIC - La question de l'adaptation du processus HBIM aux besoins spécifiques de l'étude archéologique du théâtre d'Orange*

Le théâtre d'Orange est un monument historique majeur de l'histoire de l'architecture inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco et un grand équipement culturel contemporain. Depuis 2015, il fait l'objet de restaurations qui se poursuivront jusqu'en 2024 et qui représentent une opportunité unique d'approfondir son étude archéologique.

En s'appuyant sur l'histoire des études archéologiques et des restaurations anciennes ou récentes du monument, la communication se propose de montrer comment les modes d'acquisition des données actuellement mis en œuvre, ainsi que les premières maquettes numériques d'études qui en découlent, doivent permettre de créer et de renforcer des outils et des protocoles qui favorisent le partage des données. Les différents acteurs de la vie du monument souhaitent inscrire la recherche scientifique dans une démarche interdisciplinaire de coordination et de partage avec les acteurs patrimoniaux, économiques et culturels qui œuvrent pour la conservation, l'étude ou l'utilisation du monument. Il s'agit de faire du théâtre d'Orange un champ d'application qui s'appuie sur les robustes acquis en archéologie des Systèmes d'Information géographiques (SIG) pour les associer au potentiel du HBIM (Heritage Building Information Modeling).

**E. Rosso (Sorbonne Université), T. Bartette** – *Le décor sculpté du théâtre d'Orange - de la numérisation des fragments aux hypothèses de restitution*

À la suite d'un long travail d'inventaire, de classement et d'analyse iconographique au dépôt archéologique et au Musée d'Orange, plusieurs projets développés depuis 2015 ont permis de poser les jalons d'une étude du décor figuré du théâtre antique en environnement numérique. Une première étape a consisté à numériser les fragments de l'une des frises du front de scène, dans le but de les visualiser et de les manipuler dans un même espace de travail, mais aussi de proposer des hypothèses de restitution. Une seconde étape visait à les intégrer au décor du front de scène et plus globalement, à l'édifice théâtral, avec la réalisation d'une première maquette numérique, dont l'un des objectifs était de mener une étude sur les propriétés acoustiques du monument ; actuellement, le travail se poursuit avec la réalisation de fac-similés numériques de plusieurs statues fragmentaires en ronde-bosse. La présentation sera l'occasion de revenir sur les protocoles développés pour l'acquisition et l'optimisation des fac-similés, les questions de visualisation multi-échelle, les nouvelles opportunités et les nouveaux questionnements scientifiques suscités par ces travaux (restauration ou dérestauration virtuelle des sculptures, caractère évolutif des hypothèses de restitution, partage des données), mais aussi les difficultés rencontrées.

**R. Wieder, S. Coudry (Architecture et Héritage)** – *De la restauration des monuments historiques à la conservation des connaissances acquises*

En 2014, la commune d'Orange lança un diagnostic patrimonial de grande ampleur à l'échelle du théâtre antique. Bien que restauré en 2006 lors de la mise en place de la toiture de scène, de nouvelles recherches historiques, archéologiques et techniques ont été nécessaires au démarrage de ce diagnostic afin d'avoir une compréhension complète de l'édifice antique et proposer un parti de restauration. Les travaux de conservation et mise en sécurité initiés en 2016 menés en parallèle avec les études archéologiques de l'IRAA ont permis d'approfondir les connaissances de l'édifice antique. Malgré le développement des outils numériques, une grande partie des informations récoltées lors d'un diagnostic patrimonial et complétée pendant les travaux de restauration présentent un risque de perte. Les études patrimoniales permettent de synthétiser et d'actualiser à chaque nouveau projet l'état des connaissances d'un édifice, mais souvent les interventions récentes sont difficiles à retracer. La mise en place d'un outil numérique comme le HBIM doit pouvoir s'appliquer sur les édifices patrimoniaux où la multitude d'acteurs viendrait nourrir et synthétiser les connaissances afin que celles-ci, comme l'édifice restauré, puissent servir aux générations futures.

**L. Cavalier (Ausonius, Université Bordeaux-Montaigne), J.-Fr. Bernard (IRAA, UPPA)** – *ArchXant : des archives au modèle 3D, l'exemple du monument des Néréides de Xanthos*

ArchXant est un programme franco-québécois financé par l'ANR et le FRQSC. Son objectif premier est la sauvegarde des archives d'une mission archéologique française aujourd'hui éteinte, Xanthos-Létôon et le regroupement de celles-ci dans un espace de travail virtuel ouvert à tous et pérenne. Sous le terme général d'archives, on comprendra archives graphiques, photographiques, estampages d'inscriptions etc. La mise en open access de cette documentation, une opération que l'on préconise désormais pour toutes les fouilles archéologiques, a nécessité en amont une réflexion, notamment sur le droit à l'image et la propriété intellectuelle, questions parfois difficiles à résoudre. La question du choix des collaborateurs a elle aussi été essentielle, sachant qu'une grande partie du travail préalable à la constitution d'une base de données, outil fondamental, consiste à identifier les documents que l'on souhaite y intégrer. Nous avons élargi la notion d'« archive » aux blocs porteurs de reliefs arrachés au site au XIXe s. par les explorateurs anglais et dont certains font la fierté du British Museum. Il nous a semblé pertinent de retenir parmi eux un cas d'étude qui pourrait conjuguer travail sur les archives et opération à visée scientifique et pédagogique. C'est ainsi que, dans le cadre du programme, le volet consacré au Monument des Néréides s'intéresse à l'apport des technologies d'imagerie « 3D » à la question de la restitution architecturale. Dans ce domaine, la production actuelle privilégie les performances des nouveaux outils de modélisation et de rendu, notamment en matière de photoréalisme, et ne laisse que peu de place à une réflexion portant sur l'usage raisonné d'une « reconstruction idéale » dans le cadre d'un projet scientifique. Cette approche impose de travailler sur un modèle théorique qui regroupe et structure la connaissance plus que sur une maquette conçue comme la simple transcription numérique d'un objet d'étude. C'est la mise en relation des informations cognitives et de l'image de restitution que nous avons développée en travaillant sur le Monument des Néréides, exemple remarquable par la qualité de son architecture et la richesse de sa documentation, mais également par la particularité de sa configuration actuelle (anastylose du British Museum). Ce projet a été mené en collaboration avec la société Iconem.

## Session 2 : SIG 2D/3D appliqués à l'archéologie

**L. Bernard (Archimède, Université de Strasbourg)** – *ArkeoGIS, retour d'expérience sur le partage de données spatialisées sur le passé*

En ligne depuis plus de 10 ans et dans sa 4ème version, la plateforme ArkeoGIS permet aux archéologues et aux (paléo-)environnementalistes d'accéder rapidement et facilement à des données spatialisées sur le passé. Cette présentation s'attachera à mettre en avant les freins et accélérateurs du partage des données en ligne à l'aide d'exemples tirés des plus de 100 jeux de données disponibles à ce jour sur la plateforme. Nous évoquerons aussi comment signaler des recherches et proposer une solution technique pour sensibiliser la communauté des archéologues SIGistes à l'existence de travaux 3D/HBIM.

**V. Brunet-Gaston (INRAP, IRAA), T. Menant (Grand Reims)** – *La Porte de Mars à Reims : photogrammétrie et SIG, mise en place d'un Document Unique multi études*

La création d'un document unique de travail sur la porte de Mars de Reims découle de la mise en œuvre d'un projet de restauration de l'édifice, réalisé en plusieurs phases successives dont la principale doit débiter dans le courant de cette année 2021. Sa réalisation, encore en cours, est rendue complexe par la multiplicité des acteurs impliqués dans le projet et de leurs attentes. Cette expérience illustre ainsi l'importance de bien cerner les attentes de chaque partenaire en amont du démarrage du projet et de bien maîtriser les outils techniques afin de répondre au mieux à celles-ci. Au préalable, les fouilles archéologiques menées au pied de l'édifice et la surveillance de la restauration de sa couverture ont permis de renouveler sa connaissance, chose rare pour un édifice en cœur de ville. Cette étude commanditée par la ville de Reims, est au niveau d'un projet collectif de recherches qui réunit en principaux acteurs : le SAGR<sup>1</sup>, le GEGENAA<sup>2</sup> et l'INRAP<sup>3</sup>. Les différentes études menées sur ce monument emblématique de l'Est de la Gaule ont été la détermination pétrographique et géologique de toutes les pierres de l'édifice, l'identification et la synthèse de toutes les phases de restaurations, l'étude architecturale et l'analyse stylistique, mais aussi un énorme travail à partir du modèle photogrammétrique fourni.

L'implication des acteurs et la coordination d'ensemble se révèlent également primordiales pour aboutir à un résultat répondant aux différents objectifs.

Les retours d'expérience montrent qu'il devient nécessaire de mettre en place des plates-formes collaboratives en ligne pour permettre de l'édition et du versioning.

Le webSIG et Git pourraient représenter des pistes qui répondraient à ces attentes.

<sup>1</sup> Service archéologique du Grand Reims, <sup>2</sup> Groupe d'Etude sur les Géomatériaux et Environnements Naturels, Anthropiques et Archéologiques (EA3795), <sup>3</sup> Institut National de Recherche en Archéologie Préventive.

**M. Panneau (Archéologie et Museum, Ville d'Aix-en-Provence)** – *Les outils SIG de la Direction Archéologie*  
Mis en place depuis une quinzaine d'années, le SIG de la Direction Archéologie a été développé essentiellement pour répondre efficacement aux besoins réglementaires de l'archéologie préventive. Afin d'adapter au mieux les besoins scientifiques de nos recherches, d'autres formes d'outils, sous Qgis notamment, permettent désormais de faire évoluer nos pratiques du SIG de site au SIG « 3D ».

**V. Picard (IRAA, UPPA), L. Carpentier (ArkeMine), S. Sicard (archéologue, Charente)** – *Construire un SIG du sanctuaire des Bouchauds (Saint-Cybardeaux, Charente) : questions en cours*

Depuis 2016 le sanctuaire des Bouchauds en Charente fait l'objet de nouvelles fouilles dans le cadre de programmes triennaux dirigés par Lucie Carpentier (Arkemine). Cette reprise des recherches donne l'opportunité de compléter et de publier les fouilles restées inédites, dirigées en 1994 et 1995 par François Thierry et en 2012 par Sandra Sicard (Conseil départemental de la Charente) sur la cour occidentale du lieu de culte. A cette fin, Véronique Picard (IRAA-Pau) réalise actuellement un SIG du site qui réunira la documentation hétérogène qui couvre la période de 1974 à aujourd'hui, sans oublier la documentation du XIXe et du début du XXe siècle. Le SIG devra ainsi permettre : le partage des données au sein de l'équipe constituée par les trois générations de chercheurs qui préparent l'article à venir, d'assurer la poursuite de son enrichissement par les fouilles à venir et de répondre aux nouvelles obligations de la science ouverte. La communication propose de présenter deux questions que ce travail en cours soulève :

1. Comment gérer cartographiquement l'hétérogénéité des données topographiques et graphiques ?
2. Comment assurer le stockage, la pérennité, le partage et l'accès à des données issues d'institutions et d'acteurs de la recherche divers : bénévoles, entreprises privées, collectivités territoriales, Ministère de la Culture, Université et CNRS ?

**St. Delaguet (IRAA, Aix-en-Provence)** – *La science ouverte et les technologies numériques*

OpenScience, openData, science ouverte, archives numériques.... Les recommandations actuelles imposent aux chercheurs de penser le devenir de leurs documents avant même leur création selon les principes FAIR : Faciles à trouver, Accessibles, Intéropérables et Réutilisables. Faciles à trouver en utilisant les outils proposés par les institutions, du stockage à la diffusion en ligne. Accessibles car l'enrichissement des documents par les métadonnées préserve leur intelligibilité. Intéropérables et réutilisables par des choix de formats et de solutions logicielles ouverts, et des modes de stockage et d'archivage pérennes. Ces principes permettent de participer aux grands objectifs de partage des données tout en respectant les droits de la propriété intellectuelle, et la multiplicité des acteurs travaillant à l'acquisition et à la diffusion numérique du patrimoine bâti pour l'étude archéologique et la gestion patrimoniale.

**J.-Ch. Moretti (IRAA, Lyon), L. Fadin (EFA)** – *Le Web-SIG de Délos (Grèce)*

En janvier 2018, l'École française d'Athènes a mis en ligne un Web-SIG de Délos, le plus grand site archéologique de Grèce par son étendue (<https://sig-delos.efa.gr>). Sa réalisation a nécessité la mise au point, suivant des conventions cohérentes, d'un relevé complet et homogène de l'île et des vestiges mis au jour par la fouille. La communication retracera les étapes de la construction de ce Web-SIG, présentera ses caractéristiques techniques, les outils et les types de données qu'il met à la disposition de ses utilisateurs et les projets de développement dont il est actuellement l'objet.

### Session 3 : HBIM et interopérabilité SIG/HBIM

**F. Rechichi (Università di Parma, Italie)** – *Definizione e implementazione di un modello informativo per i beni culturali*

L'intervento tratterà della definizione ed implementazione di un modello informativo per i Beni Culturali. Dopo un breve riassunto dello stato dell'arte dei metodi e dei sistemi per i Beni Culturali e l'analisi delle necessità di dodici Beni Culturali

molto diversi tra di loro (Duomo di Milano, San Marco Venezia, Galvagnina Mantova, Sacri Monti, Città Alta di Bergamo, Catasti storici di Parma, Pietà Rondanini, Quadri del Luini, Monete Antiche del Museo della Moneta, Umm al-Dabadib, Saqqara, Scavi della metropolitana di Napoli, per gli scavi archeologici), si illustrerà la proposta di definizione di un nuovo modello informativo generale per i Beni Culturali, denominato CHIM (Cultural Heritage Information Model), e di una sua implementazione, ovvero la realizzazione di un prototipo, denominato CHIMERA, sviluppato specificamente per rispettare i requisiti della definizione proposta. Al posto di tentare di adattare i modelli esistenti per gli edifici (i BIM) o per il territorio (i GIS) alle necessità dei Beni Culturali, considerando che sono stati pensati per altri scopi, e di cercare poi di integrarli tra di loro, si propone di introdurre un nuovo modello (il CHIM), specifico per i Beni Culturali. Verrà sia illustrata una proposta di definizione di CHIM, sia verranno analizzati i requisiti e le caratteristiche che ciascun CHIM deve rispettare, al fine di poter adeguatamente rispondere a tutte le necessità di un qualsiasi Bene Culturale. Verrà poi presentato il prototipo di CHIM, la cui realizzazione è stata indispensabile sia per validare le idee che hanno portato alla sua definizione, sia per sperimentare nella realtà i diversi problemi e le criticità: CHIMERA è uno dei primi sistemi informativi web ready-to-work che consente di utilizzare contemporaneamente diversi dati integrati, come modelli 3D, nuvole di punti, ma anche mappe, dati raster, dati vettoriali e immagini 2D; presenta inoltre diverse funzionalità che consentono di lavorare con un approccio multiscala, passando da un "livello oggetto singolo", a un livello di ordine superiore (ad esempio "livello edificio"), ad un più ampio sistema informativo "a livello ambientale" e consente la gestione dei cambiamenti del tempo e delle attività di manutenzione. CHIMERA è rilasciato con licenza opensource BSD 2-clause.

**R. Raffin (Aix-Marseille Université, LIS, CNRS)** – *Indexation de documents dans une maquette numérique 3D expérience du cloître Saint Trophime à Arles*

Dans le cadre du programme de rénovation du cloître Saint Trophime d'Arles, une campagne de numérisation 3D a été organisée en 2011. Les données géométriques ont été utilisées dans plusieurs cadres : une maquette numérique accessible depuis l'Internet pour indexer et explorer une base d'archives documentaires, une production multimedia pour la médiation culturelle du site, un archivage numérique du bâtiment. Alors qu'une seconde numérisation s'organise, de multiples questions se posent sur le cycle de vie du bâtiment, à plusieurs niveaux : comment intégrer et visualiser ces nouvelles géométries très précises, comment analyser les géométries (i.e. la surface du bâtiment) sur plusieurs campagnes ? Comment porter l'indexation des documents existants dans la nouvelle maquette, comment faire le lien entre données 3D numérisées et BIM ? À une plus grande échelle, quelle pourrait être une architecture de serveurs fédérés pour l'archivage de maquettes et des documents associés ? Nous essaierons de proposer des pistes de solutions, notamment via le projet Copam de Conservatoire du Patrimoine de la Méditerranée.

**D. Groux (A-BIME)** – *H-BIM : expérimentations et premières ébauches de protocoles d'utilisation.*

« sans sémantique pas de H-BIM »

Depuis sa création en 2015, la société A-BIME s'est beaucoup investie dans des recherches pour développer la technologie du BIM au service du bâti patrimonial. Dans le cadre de cette R&D et de nos différents projets, nous avons mené de nombreuses expériences pour transcrire les données archéologiques dans la maquette numérique BIM et créer des objets paramétriques associés. De tâtonnements en développements des protocoles de mise en œuvre ont émergé pour organiser et structurer les données. Nous proposons d'axer notre intervention sur la présentation de cas concrets.

**K. Jacquot (MAP Aria)** – *Regards croisés sur la maturité des pratiques BIM et HBIM*

Depuis une dizaine d'années, le HBIM : l'application du BIM au bâti patrimonial ou existant fait l'objet de nombreuses expérimentations alors qu'au même moment le BIM peine à s'implanter en France, en particulier dans les agences d'architecture. À partir de plusieurs études récentes, cette communication cherche à interroger l'adoption du modèle BIM comme réponse aux enjeux du bâti patrimonial.

**A.-M. Bellenger, A. Blandin (Bellenger Blandin Avocats)** – *Le HBIM sous l'angle du droit*

Quelles sont aujourd'hui les solutions juridiques qui permettent de concilier l'évolution des technologies avec les contraintes des opérations de construction, publiques et privées ? A.M. Bellenger et A.Blandin proposent une approche pragmatique des questions que soulève le HBIM au regard du droit.