

# Génération de jeux de données par la simulation multi-modèle pour le Jumeau numérique d'un Smart Building – Projet LaVI&Co

---

**Mots-clés** : jeu de données ; bâtiment intelligent ; jumeau numérique ; simulation multi-physique ; gestion de données ; architecture distribuée ; performance énergétique ; objets connectés ; programmation événementielle ; capteurs

**Keywords** : dataset ; smart building ; digital twin ; multiphysics computing ; data management ; distributed computing ; energy performance ; IoT Internet of Things ; event-driven programming ; sensors ;

## 1. Positionnement

### 1.1. Le CESI et le laboratoire LINEACT

Le **CESI** est le premier organisme de formation d'enseignement supérieur par l'apprentissage, notamment au travers de ses filières de formation en ingénierie sur les 25 centres du territoire français. Nos formations étant majoritairement orientées informatique, industrie et BTP, deux défis à relever s'imposent naturellement : L'Industrie du Futur et la Ville du Futur.

La recherche développée au sein du groupe suit cette organisation, au sein de l'unité de recherche du CESI : **LINEACT - Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires**. Il rassemble 39 chercheurs et 13 doctorants. Les projets s'organisent autour d'un Living Lab 'Usine du futur' et d'un démonstrateur 'Bâtiment du futur', ces deux plates-formes servant également d'adossement recherche à la pédagogie. Le démonstrateur bâtiment du futur, dans les murs du centre de Nanterre, est un Smart Building de 220m<sup>2</sup>, conçu et développé avec nos partenaires industriels (CISCO, Phillips Lightning, Vinci Energies). Il constitue un terrain d'expérimentation pour les travaux de recherche et d'innovation, menés en association avec nos partenaires académiques (Laboratoire DAVID de l'Université de Versailles Saint-Quentin, laboratoire LATI de l'université Paris-Descartes). Ce nouveau démonstrateur se veut la vitrine des activités Recherche et Innovation dans le domaine du Smart Building du CESI.

### 1.2. Contexte et objectifs du projet LaVI&Co

La notion de jumeau numérique a émergé à la fin des années 2000, et désigne la réplique numérique d'un objet ou d'un système. Plus spécifiquement, le jumeau numérique d'un bâtiment intelligent est un modèle logiciel dynamique permettant, au travers de l'apprentissage logiciel, l'analyse de données et la simulation numérique, l'exploitation et la maintenance du bâtiment. La maintenance prédictive ou le pilotage intelligent d'un Smart Building sont des cas d'usage typiques du jumeau numérique du bâtiment. Cette notion de jumeau numérique du bâtiment est cependant assez récente et n'a pas encore été définie de manière formelle. La littérature a tendance à faire l'amalgame entre le jumeau numérique et le modèle BIM (Building Information Modeling, un modèle 3D dynamique intégrant les données de construction, mais aussi d'exploitation du

bâtiment). Cette vision ne correspond cependant pas à la réalité du besoin, notamment concernant la gestion des données, ou les fonctionnalités de simulation et d'apprentissage qui s'appuient dessus.

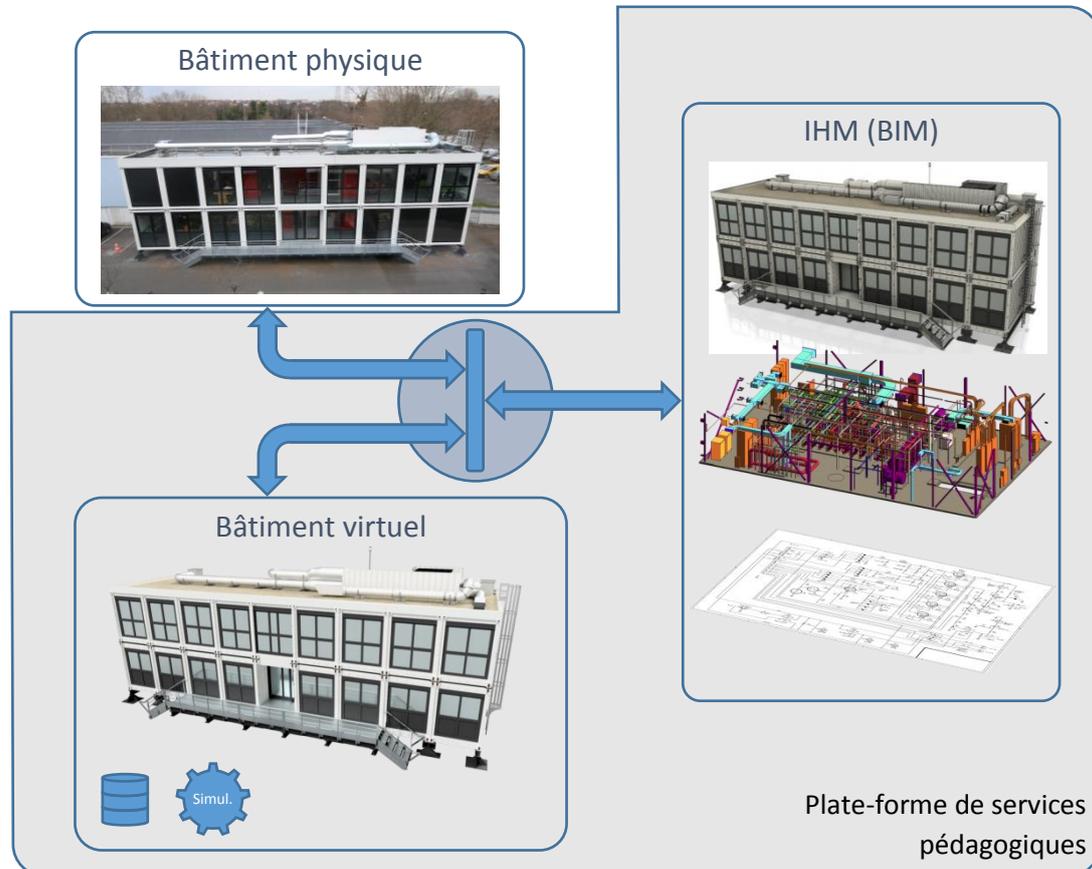
Le projet LaVI&Co est un projet d'un budget de 430 000€, financé à 40% par le *Programme Opérationnel Régional FEDER Renforcement des nouveaux usages et contenus numériques dans les domaines de l'e-éducation et l'e-santé*. Il a pour but de valider et développer un modèle de jumeau numérique basé sur une architecture logicielle distribuée. Ce jumeau numérique se destine à un usage pédagogique, permettant à des apprenants d'interagir avec une représentation dynamique de l'installation qui en réplique de manière synchrone ou asynchrone le comportement. Dans ce cadre, le but de ce post-doctorat est de démontrer la faisabilité et la pertinence de la génération de jeux de données multi-modèle issus de la simulation, et plus généralement de valider l'approche par architecture distribuée proposée pour le jumeau numérique.

## 2. Architecture

### 2.1. Architecture fonctionnelle

Le dispositif permet d'articuler différents composants liés au Smart Building de manière à constituer le jumeau numérique :

- Bâtiment physique : installation sur site
- Bâtiment virtuel : dispositif logiciel qui simule en temps réel les I/O correspondant à un bâtiment physique
- BIM : Maquette 3D, à  $n$  dimensions (dans le cadre du BIM, une dimension est une source de données). Ici, le logiciel BIM est utilisé comme IHM principale
- Jumeau numérique : lien de l'IHM avec un bâtiment virtuel



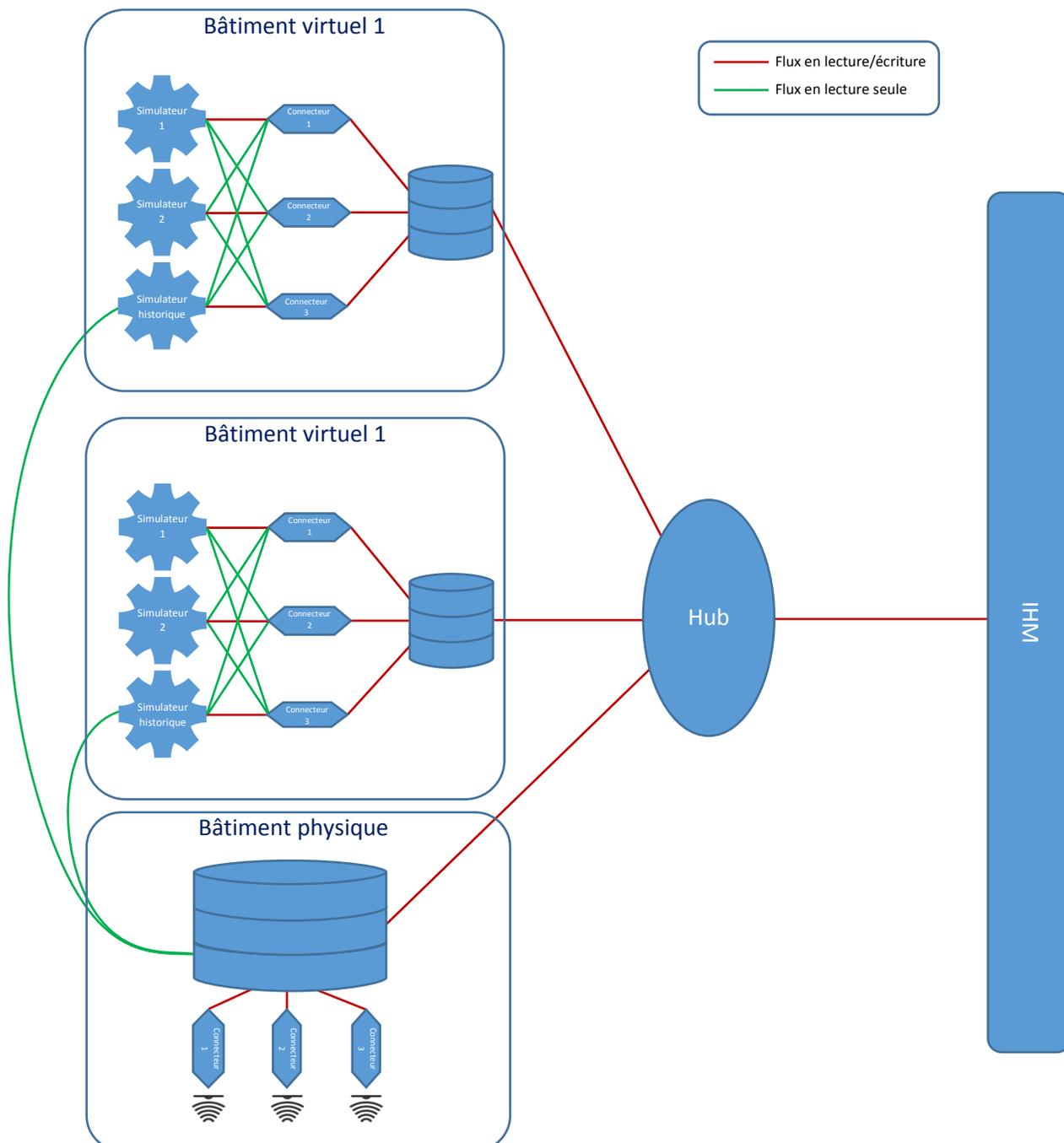
L'un des challenges de ce projet est de permettre une simulation multi-modèle, c'est-à-dire faisant interagir plusieurs simulateurs. Ces derniers sont de deux types :

- Simulateurs physiques ou multi-physique : ce sont des standards du marché (simulation thermique, calcul de structures etc.)
- Simulateurs comportementaux : ce sont des simulateurs basés sur des automates à états finis, décrivant le comportement des éléments physiques : système de contrôle de la lumière, de la pompe à chaleur et/ou de la climatisation

Faire collaborer ces simulateurs pour obtenir une simulation multi-modèle ne peut consister simplement à partager un modèle de données d'entrées. Une telle approche ne permettrait pas d'obtenir un résultat cohérent. En effet, si durant le temps simulé l'un des simulateurs détermine un changement d'état pour un capteur, les autres simulateurs n'en seront pas informés, et leurs calculs ne seront pas valides. On obtient au final un jeu de données pour chaque simulateur, que l'on ne peut agréger.

## 2.2. Architecture technique

La solution technique proposée pour implémenter le jumeau numérique du Smart Building suit le schéma suivant :



## Bâtiment virtuel

Un bâtiment virtuel est une configuration correspondant à un scénario donné. Son rôle est de générer (de manière itérative ou par agrégation continue) un jeu de données horodatées permettant de simuler le fonctionnement du bâtiment. Il est constitué de :

- Une base de données contenant l'ensemble des données du bâtiment virtuel, correspondant aux équipements du bâtiment physique. Cette base contient les données horodatées simulant le fonctionnement du bâtiment.
- Des connecteurs virtuels correspondant aux connecteurs physiques, et permettant la lecture et l'écriture dans la base de données.
- Des simulateurs physiques ou multi-physique, jouant le rôle de générateurs de données.
- Un simulateur historique, dont le rôle est d'insérer dans la base des données issues du bâtiment réel, de manière à avoir un générateur de données mêmes pour les connecteurs ne correspondant à aucun simulateur physique. Ce simulateur devra non seulement recopier les données issues du bâtiment physique, mais aussi recalculer leur horodatage afin de le rendre cohérent avec l'ensemble des données simulées par le bâtiment virtuel. Cette recopie peut être ponctuelle (lors de l'instanciation du bâtiment virtuel) ou en continu.

Chaque connecteur a un et un seul générateur de données, qu'il s'agisse d'un simulateur physique ou du simulateur historique.

Dans le cas d'une approche itérative de la simulation multi-modèle, les itérations sont gérées de la manière suivante : lorsqu'un simulateur termine son calcul de l'itération  $n$ , il génère un ensemble de données à destination d'un sous-ensemble de connecteurs. L'écriture de l'ensemble des données générées par l'ensemble des simulateurs est atomique, et horodatée sur le temps simulé. Une fois l'écriture effectuée, l'itération  $n+1$  est lancée sur l'ensemble des simulateurs.

Dans le cas d'une agrégation en continu, une approche événementielle semble la plus adaptée. Chaque simulateur génère des événements lors du changement d'état de l'un de ses connecteurs. L'événement est propagé vers les autres simulateurs, afin qu'ils intègrent le nouvel état dans leur simulation. L'horodatage et la synchronisation des simulateurs devront être garants de la validité des simulations.

## IHM BIM

L'interface graphique est un client BIM qui utilise une maquette au format IFC, et fournit des fonctionnalités de connexion à une source de données/pilotage. Cette IHM permettra non seulement la consultation de l'état du bâtiment (virtuel ou physique), mais aussi la modification de l'état de ses équipements. Cela nécessite de pouvoir faire le lien entre les objets décrits en base et les objets du modèle IFC. Dans le cas du bâtiment virtuel, cela implique aussi la possibilité d'écraser de manière interactive certaines données générées par les simulateurs.

## Hub

Le Hub consiste en un serveur de présentation de services de monitoring et de contrôle du bâtiment. Il reçoit les requêtes de l'IHM, et les route soit vers le bâtiment physique, soit vers un bâtiment virtuel, et route les réponses vers l'IHM. Il est responsable :

- de l'instanciation d'un bâtiment virtuel au début d'une session virtuelle. Il permet à l'IHM de sélectionner un scénario parmi ceux stockés en base, afin de charger la configuration correspondante et de créer le bâtiment virtuel. Ce scénario sera ensuite accessible à plusieurs étudiants travaillant en équipe.

- du routage des données (données du bâtiment, ou changement d'état provoqué par l'utilisateur) vers ou depuis le bâtiment (physique ou virtuel en fonction de la session). Cette dimension interactive est fondamentale, car elle permet à l'utilisateur entre chaque itération de la multi-simulation par le bâtiment virtuel, d'écraser les données générées avec des données saisies par l'utilisateur.

### 3. Le post-doctorat

#### 3.1. Objectifs du post-doctorat

Les objectifs de ce post-doctorat sont la validation théorique et expérimentale de l'architecture distribuée pour le jumeau numérique du Smart Building, et plus particulièrement de la génération de jeux de données multi-modèle. Dans un premier temps, le système devra permettre une simulation double modèle. Le premier mode est le modèle thermique (basé sur un simulateur thermique issu de l'industrie, et interopérable) ; le second mode est le modèle domotique (facilement implémentable à l'aide de langages à événements). Le sujet consiste donc à :

- Proposer une méthode pour appareiller des données des différents modèles de génération (les simulateurs physiques)
- Valider expérimentalement le modèle en développant une plate-forme de génération de jeu de données (connecteurs virtuels, base de données virtuelles, hub).

En fonction des résultats, il est envisagé de généraliser l'approche à une simulation multi-modèle. La simulation du comportement des usagers est considérée pour cette généralisation. Ce simulateur est déjà en cours de développement dans le cadre d'une thèse de doctorat sur le pilotage intelligent du bâtiment.

Le post-doctorant participera aussi à la création d'un groupe de travail sur les problématiques de données du Smart Building avec le laboratoire DAVID (Données et Algorithmes pour la Ville Intelligente et Durable) de l'Université de Versailles Saint-Quentin.

#### 3.2. Le poste

**Durée et date:** 12 mois, dès que possible.

**Lieu :** Les travaux se dérouleront au CESI de Nanterre.

**Profil :** D'un Doctorat en Informatique spécialisé en bases de données, vous avez idéalement des connaissances ou une appétence pour le BIM, le Smart Building, la simulation numérique.

Doté d'un bon relationnel, vos capacités **d'écoute** et **d'analyse**, ainsi que **vos curiosité** seront des atouts indispensables pour réussir la mission.

**Contact :** Merci d'envoyer votre candidature (CV avec liste de publication, lettre de motivation) à **Christophe Bourgognon**, Responsable du département Recherche et Innovation CESI Ile de France / Centre : [cbourgognon@cesi.fr](mailto:cbourgognon@cesi.fr)

## 4. Références

1. *Refurbishment and school buildings management in a smart building environment*. Martino Di Giuda G., Villa V., et al. AIP Conference Proceedings, 2018.
2. *Simulation of Smart Home Activity Datasets*. Synnott J., Nugent C., Jeffers P. Sensors. 2015.
3. *Persim 3D: Context-Driven Simulation and Modeling of Human Activities in Smart Spaces*. Lee J.W., Cho S., Liu S., Cho K., Helal S. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2015.
4. *The creation of simulated activity datasets using a graphical intelligent environment simulation tool*. Synnott J., Chen L., Nugent C., Moore G. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2014.
5. *Simulation of a Smart Home Environment*. Ariani A., Redmond S.J., Chang D., Lovell N.H. 3rd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering, 2013.
6. *Data-driven generation of rule-based behavior models for an ambient assisted living system*. Rodner T., Litz L. Proceedings of the IEEE Third International Conference on Consumer Electronics. 2013.
7. *A simulator for generating and visualizing sensor data for ambient intelligence environments*. Buchmayr M., Kurschl W., Küng J., Procedia Computer Science, 2011.