

---

# Li-BIM – Simulation du comportement des occupants d'un bâtiment à partir d'une maquette numérique

Taillandier Franck<sup>1</sup>, Taillandier Patrick<sup>2</sup>, Micolier Alice<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France. ([franck.taillandier@u-bordeaux.fr](mailto:franck.taillandier@u-bordeaux.fr))

<sup>2</sup> UR875 MIAT, INRA, Toulouse, France

---

*RÉSUMÉ.* La conception des bâtiments est porteuse de nombreux enjeux et notamment la meilleure prise en compte de l'utilisateur, qu'il soit locataire, propriétaire ou employé. Différents modèles de comportement des occupants pouvant s'interfacer avec des outils de simulation de bâtiment (thermique, qualité de l'air, éclairage, etc.) ont été proposés. Parmi ceux-ci les modèles basés sur l'approche agent semblent les plus prometteurs. Toutefois, les modèles existants restent assez pauvres pour simuler la cognition humaine. De plus, ils sont souvent uniquement tournés vers un usage spécifique (simulation thermique, gestion des déchets, etc.) sans être transposable à un autre domaine. Cet article propose un modèle agent autonome appelé Li-BIM, permettant de simuler le comportement d'occupant dans un bâtiment. Le modèle Li-BIM est structuré autour d'un modèle Agent permettant d'intégrer une représentation BIM du bâtiment (format IFC) et un modèle cognitif évolué d'occupant sous une architecture BDI (Belief-Desire-Intention). Le modèle a été implémenté sous GAMA et l'article propose un exemple d'application de ce modèle.

*ABSTRACT.* The building design involves many challenges and is particularly important to take into account the user, whether he is a tenant, owner or employee. Different occupant behavior models implemented with building simulation tools (thermal, air quality, lighting, etc.) have been proposed. Among these ones, models based on the agent approach seem to be the most promising. However, existing models poorly describe human cognition. Moreover, they are often oriented towards a specific use (thermal simulation, waste management, etc.) without being transposable to another field. This article proposes a model of autonomous agent called Li-BIM, simulating the behavior of occupants in a building. The Li-BIM model is structured around a BIM model (IFC format) and an evolved occupational cognitive model developed with a Belief-Desire-Intention (BDI) architecture. The model has been implemented under GAMA and the article provides an example of the application of this model.

*MOTS-CLÉS :* Modèle de comportement d'utilisateur, Modèle Agents, BIM, Architecture BDI

*KEYWORDS:* User behaviour model, Agent based model, BIM, BDI Architecture

---

## 1. Introduction

La conception des bâtiments est porteuse de nombreux enjeux, qu'ils soient environnementaux (consommation énergétique, potentiel de changement climatique, etc.), sociaux (confort, qualité d'usage, etc.) ou économiques (coût d'investissement, coût d'exploitation, etc.). Pour répondre à ces enjeux, de nombreux travaux de recherche se sont attachés à améliorer les dispositifs techniques (matériaux, équipement, etc.) et les paramètres situationnels (volume, orientation, etc.). Mais cela n'est pas suffisant pour assurer des performances optimales pour les bâtiments. En effet, le fonctionnement des bâtiments ne peut se concevoir qu'en lien avec l'utilisateur. Ainsi, un enjeu émergent de la conception de bâtiment est la meilleure prise en compte de l'utilisateur, qu'il soit locataire ou propriétaire dans un immeuble résidentiel, ou employé dans un immeuble de bureau. Cela sous-tend deux questions : (a) quel est l'impact de l'occupant et de son comportement sur le fonctionnement du bâtiment et (b) quels sont les choix de conception qui permettent d'améliorer le fonctionnement du bâtiment (impact environnemental, satisfaction de l'utilisateur, etc.) tout en prenant en compte le comportement de l'occupant.

Ces questions sont présentes dans différents domaines de la conception de bâtiment (qualité de l'air [AND 16], éclairage [HEY 16], etc.) et notamment dans le domaine thermique/énergétique où la question de l'occupant est particulièrement cruciale. En effet, de nombreuses études [CAL 16] ont démontré qu'il existait un écart important entre la consommation énergétique simulée et celle réellement mesurée, en raison, en grande partie, du comportement des occupants [HOE 09]. Ainsi, afin d'améliorer cet aspect, différents modèles de comportement des occupants pouvant s'interfacer avec des outils de simulation thermique ont été proposés. Parmi ceux-ci, on peut citer les modèles basés sur des approches probabilistes [JAN 16], l'approche agent [KLE 12], des analyses statistiques [PEN 12] et la fouille de données [DOC 15]. L'approche agent semble la plus prometteuse pour simuler le comportement des occupants de bâtiment [LAN 15]. En effet, elle permet une modélisation intuitive et naturelle propre à inclure dans la construction de modèles, des non-informaticiens. L'approche agent est basée sur un modèle versatile propre à modéliser une grande variété de phénomène. Elle est particulièrement adaptée à la modélisation des systèmes complexes dynamiques, et notamment les systèmes humains et sociaux avec de forte capacité d'adaptation, de réaction et d'interaction induisant de l'émergence.

Si des modèles agent ont déjà été développés pour modéliser le comportement d'occupants de bâtiments, ceux-ci restent encore limités. D'une part, les modèles cognitifs utilisés des occupants sont souvent assez pauvres. Par ailleurs, les modèles sont généralement limités à un seul usage spécifique (uniquement la simulation thermique par exemple). Enfin, leur utilisation est complexe pour les non-informaticiens, car elle nécessite d'entrer les caractéristiques du bâtiment et des occupants sans interface dédiée. Pour répondre à cela, nous avons développé le modèle Li-BIM (Life in BIM), permettant de simuler le comportement d'occupants dans un bâtiment. Ce modèle et son implémentation sont exposés dans les parties suivantes.

## 2. Description générale du modèle

Afin de répondre au triple enjeu : modèle cognitif avancé, interopérabilité, accessibilité aux non informaticiens, le modèle Li-BIM est structuré autour d'un modèle Agent (Fig. 1) intégrant une représentation BIM du bâtiment et une architecture BDI pour la modélisation cognitive des occupants.

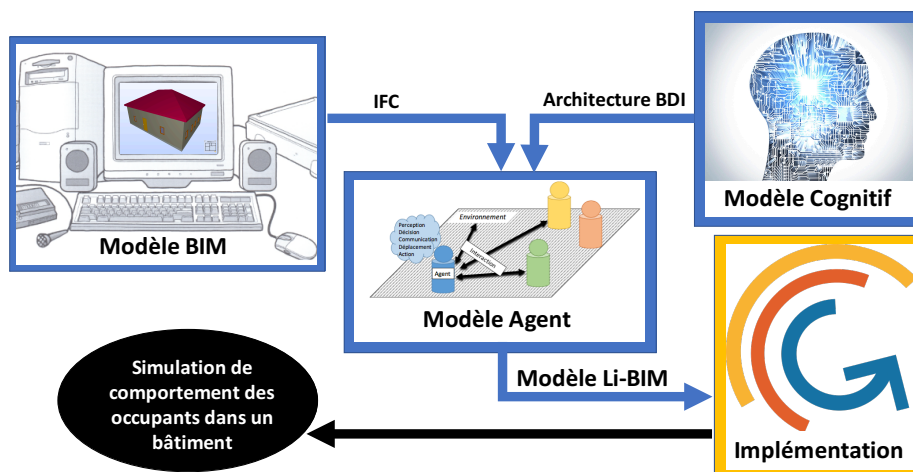


Fig 1. Composition du modèle Li-BIM

---

## 2.1. Modèle Agent

La simulation multi-agents repose sur la modélisation d'un ensemble d'entités autonomes, appelés agents, évoluant dans un environnement dynamique. Un agent peut être une personne (occupant), un objet physique (mur), un concept (chambre), etc. Les agents peuvent avoir des capacités cognitives (occupant) lui permettant de prendre des décisions ou de simplement suivre des lois préétablies (radiateur). Chaque agent a sa propre vision du système, son propre comportement, ses propres objectifs et sa propre façon d'interagir avec le système. La complexité du système émerge alors de l'ensemble des interactions entre les agents.

## 2.2. Intégration de fichiers IFC

La maquette numérique (BIM) est en plein essor ; elle présente un fort potentiel pour faciliter la coordination entre les différents acteurs et le suivi de l'ouvrage. L'intégration directe de la maquette numérique permet d'assurer l'interopérabilité entre différents outils et une description facilitée du bâtiment. Par son usage des fichiers d'échanges standardisés IFC, Li-BIM permet à son utilisateur de concevoir un bâtiment sous un outil classique BIM (Revit, Allplan, etc.) et d'importer directement le fichier IFC obtenu sous Li-BIM.

## 2.3. Modèle de comportement BDI

Une approche efficace pour modéliser des comportements cognitifs complexes dans les modèles agent est l'architecture BDI (Belief-Desire-Intention) [CAI 15]. L'architecture BDI repose sur trois bases de données (Croyance, Désir, Intention) définies pour chaque agent et simulant sa psychologie. La base de croyance désigne ce que l'agent sait. Ces connaissances peuvent être justes ou fausses, voire contradictoires. La base de Désir correspond à ses objectifs, ce qu'il souhaite. Enfin, la base d'Intention correspond à ce que l'agent compte faire pour assouvir son désir et accomplir ses objectifs. Toutes ces bases évoluent dynamiquement en fonction de son environnement et de ses actions. En plus de ces bases de données, l'agent possède des raisonnements internes qui lui permettent de créer lui-même des pensées, sans qu'il ne les extraie directement de son environnement. Ces trois bases de données couplées aux règles permettent à l'agent de construire des raisonnements complexes pour atteindre ses objectifs. Cela permet *in fine* d'obtenir des comportements réalistes pour les agents.

## 3. Description du modèle et implémentation

Le modèle a été implémenté sous la plateforme multi-agent GAMA [GRI 13] qui possède une intégration native de l'architecture BDI. Une bibliothèque a été créée pour Li-BIM afin d'importer des fichiers IFC. GAMA se voulant un logiciel ouvert, cette nouvelle bibliothèque est disponible pour tout nouveau modèle sous GAMA.

### 3.1. Agents du modèle

Le modèle Li-BIM contient deux familles d'agent : les occupants et le bâtiment. Tous les objets composants le bâtiment dans le fichier IFC sont transformés en agent. Ils disposent des attributs établis dans le BIM ; un objet « Mur » est transformé en agent « Mur » disposant de la même épaisseur, de la même composition, etc.

Les agents occupants reposent sur une architecture BDI. Ils disposent d'attributs les caractérisant (travailleur, fumeur, température idéale, etc.) et d'attributs relatifs à leur état selon plusieurs domaines (confort, fatigue, faim, etc.). Ces attributs, qui évoluent constamment durant la simulation, leur permettent de nourrir leur base de croyance ; par exemple si l'état de fatigue atteint 100% alors l'occupant acquiert la croyance « Je suis fatigué ». Si de plus l'occupant a la croyance « Il est l'heure d'aller me coucher », il acquiert alors le désir « Aller se coucher ». Il compare la priorité de ce désir par rapport à ses autres éventuels désirs (« Manger », « Travailler », etc.). S'il juge ce désir prioritaire alors, « Aller se coucher » est ajouté à la base d'intention et il va effectuer le plan « Dormir ». Le modèle intègre aussi l'interaction des occupants avec les systèmes (par exemple, en cas de « Sentiment de froid », l'occupant peut allumer le chauffage) ou avec les autres occupants (si deux personnes ont des opinions différentes sur la température, l'une peut convaincre l'autre du bien fondé d'avoir une température donnée). Ces interactions justifient d'autant le recours à un modèle agent pour simuler la vie des occupants.

### 3.2. Illustration sur un exemple simple

Afin de tester Li-BIM, un exemple simple a été implémenté : la simulation d'une famille (1 adulte et 1 enfant) dans une maison. Le modèle BIM de la maison a été réalisé sous Revit (Autodesk). La description des occupants a été réalisée via un formulaire Excel. Les données (IFC pour Revit et CSV pour Excel) sont importées par Li-BIM (Fig. 2). Il est possible de masquer les objets composants le bâtiment dans la simulation (les menuiseries et la toiture en Fig. 2) afin d'améliorer la lisibilité ou d'accélérer la vitesse de la simulation. Le simulateur décrit à chaque pas de temps (ici 5 min) les actions effectuées par les occupants et l'évolution de leurs paramètres (fatigue, confort thermique, etc.).

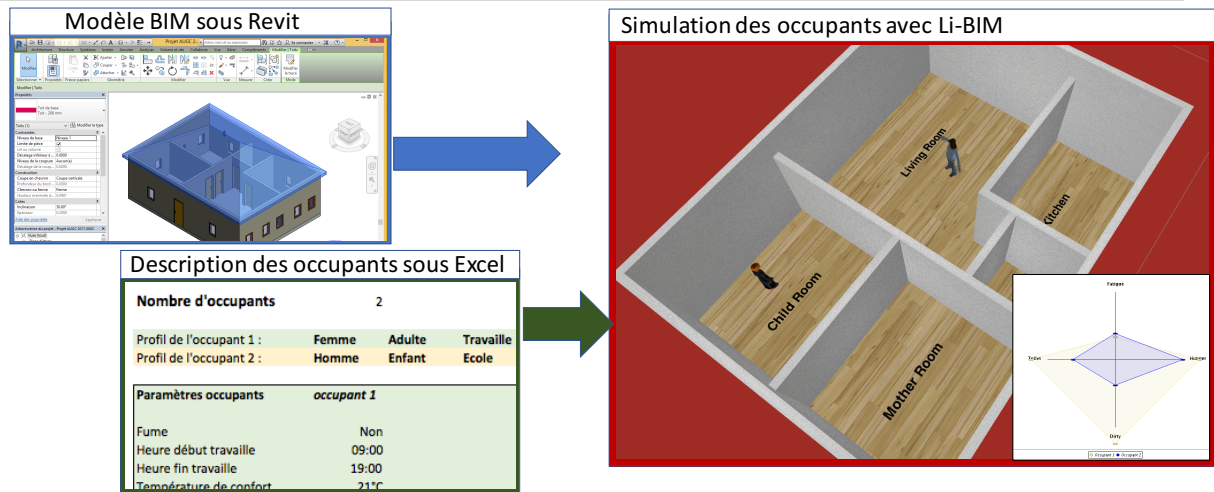


Fig 2. Exemple d'implémentation du modèle

#### 4. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article, le modèle agent Li-BIM basé sur une architecture BDI permettant de simuler le comportement d'occupants dans un bâtiment. Li-BIM permet d'importer directement le fichier IFC du bâtiment, facilitant ainsi son usage et permettant une interopérabilité avec des outils de simulation compatibles avec des fichiers IFC. Le modèle est fonctionnel et permet d'ores et déjà de réaliser des simulations, mais il reste des points à approfondir : l'affinement du comportement (relations sociales, émotions, etc.) et l'intégration d'un outil de génération de population synthétique. Ce dernier permettrait de peupler automatiquement les bâtiments (immeuble de logement collectif ou bureau) avec des occupants représentatifs de la population visée (actifs, retraités, étudiants, etc.). Li-BIM sera utilisé dans un projet visant à élaborer un outil d'aide à la conception de bâtiment performant énergétiquement tout en assurant une bonne qualité de l'air.

#### 5. Bibliographie

- [AND 16] ANDERSEN, R. K., V. FABI, S. P. CORGNATI, "Predicted and actual indoor environmental quality: Verification of occupants' behaviour models in residential buildings." *Energy and Buildings*, vol. 127, 2016, p. 105-115.
- [CAI 15] CAILLOU, P., B. GAUDOU, A. GRIGNARD, ET AL. "A Simple-to-use BDI architecture for Agent-based Modeling and Simulation" *The 11th Conf. of the Euro. Soc. Simul. Ass. (ESSA 2015)*, 2015, Groningen, Netherlands.
- [CAL 16] CALÌ, D., T. OSTERHAGE, R. STREBLOW AND D. MÜLLER, "Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test." *Energy and Buildings*, vol. 127, 2016, p. 1146-1158.
- [DOC 15] D'OCA, S. AND T. HONG, "Occupancy schedules learning process through a data mining framework." *Energy and Buildings*, vol. 88, 2015, p.395-408.
- [GRI 13] GRIGNARD, A., P. TAILLANDIER, ET AL. "GAMA 1.6: Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation". *PRIMA 2013*, Dunedin, New Zealand, 2013, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, p. 117-131.
- [HEY 16] HEYDARIAN, A., E. PANTAZIS, J. P. CARNEIRO, ET AL. "Lights, building, action: Impact of default lighting settings on occupant behaviour." *Journal of Environmental Psychology*, vol. 48, 2016, p. 212-223.
- [HOE 09] HOES, P., J. L. M. HENSEN, M. G. L. C. LOOMANS, ET AL. "User behavior in whole building simulation" *Energy and Buildings*, vol. 41, n°3, 2009, p. 295-302.
- [JAN 16] JANG, H. AND J. KANG, "A stochastic model of integrating occupant behaviour into energy simulation with respect to actual energy consumption in high-rise apartment buildings." *Energy and Buildings*, vol. 121, 2016, 205-216.
- [KLE 12] KLEIN, L., J. Y. KWAK, G. KAVULYA, ET AL. "Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multi-agent systems." *Automation in Construction*, vol. 22, 2012, p. 525-536.
- [LAN 15] LANGEVIN, J., J. WEN, P. L. GURIAN, "Simulating the human-building interaction: Development and validation of an agent-based model of office occupant behaviors." *Building and Environment*, vol. 88, 2015, p. 27-45.
- [PEN 12] PENG, C., D. YAN, R. WU, ET AL. "Quantitative description and simulation of human behavior in residential buildings." *Building Simulation*, vol. 5, n°2, 2012, p. 85-94.