



école doctorale **sciences pour l'ingénieur et microtechniques**

Titre de la thèse : Contribution à la modélisation et à l'aide à la gestion dynamique de services centrés sur les utilisateurs dans un environnement de bâtiment intelligent incertain

Laboratoire d'accueil principal : Laboratoire Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées (CIAD) de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard et de l'Université Bourgogne Franche-Comté – <http://www.ciad-lab.fr>

Laboratoire partenaire : Laboratoire Architecture, Morphologie Urbaine et Projet de l'Ecole d'Architecture de Strasbourg

Entreprise partenaire (contrat CIFRE) : Kardham Digital, Paris

Spécialité du doctorat préparé : Informatique

Mots-clefs : systèmes multi-agents, modélisation d'information de bâtiments, modélisation centrée sur les utilisateurs, services aux utilisateurs

Descriptif détaillé de la thèse :

1) Introduction / contexte :

Le bâtiment intelligent (Smart Building) transforme, depuis plusieurs années, le secteur du bâtiment. Grâce aux technologies numériques, comme l'Internet des Objets (IOT) et l'Intelligence artificielle (AI), les bâtiments deviennent de véritables plateformes de services pour les utilisateurs. L'IOT collecte les données des capteurs situés dans les bâtiments, les traite et les communique par le biais de réseaux adaptés. Ces données sont ensuite transmises à des plateformes, notamment « Software-as-a-Service » (SaaS) qui les exploitent et fournissent des services à haute valeur ajoutée. L'objectif est de développer une série de services pour faciliter le quotidien des usagers, des exploitants et des gestionnaires. Ainsi, les bâtiments deviennent performants, les données sont utilisées en temps réel et la prise de décisions est éclairée. Par exemple, en combinant les algorithmes de l'IA aux données fournies par l'IOT, les consommations énergétiques des occupants d'un bâtiment sont ainsi ajustées et automatisées [1].

Un Smart Building, équipé de capteurs de plus en plus intelligents, a accès à de nombreuses données pertinentes de l'écosystème. Ainsi, il mesure le taux d'occupation des espaces de travail partagés, adopte une démarche de maintenance prédictive sur les différents équipements et permet d'adapter, d'anticiper et de piloter certaines actions de manière quotidienne. Les bénéfices sont donc clairement appréciables et permettent aux exploitants de bâtiments d'accéder à de réels indicateurs de pilotage et d'effectivement mettre en œuvre un pilotage intelligent du bâtiment afin de répondre aux besoins de ses usagers. Ces tâches complexes à gérer de manière traditionnelle sont alors simplifiées et industrialisées. Le bâtiment connecté devient véritablement intelligent.

Pour autant, pour offrir de vrais services, il ne suffit pas de multiplier les équipements connectés. En effet, tous ces systèmes doivent pouvoir communiquer ensemble et être pilotables de façon

centralisée et décentralisée. Il s'agit donc de rationaliser les opérations de gestion. C'est sur ce point que se concentre cette thèse. L'usage de technologies de pointe en **intelligence artificielle distribuée, notamment les systèmes multiagents**, permettant de modéliser le bâtiment intelligent dans toutes ses dimensions technologiques et d'usage afin de proposer une expérience d'utilisation intuitive et efficiente aux usagers.

2) Problématiques scientifiques

De nombreux travaux récents se sont penchés sur la modélisation de bâtiments intelligents selon différents points de vue [6], tels que la construction de réseaux de capteurs [2, 5], la gestion du bâtiment du point de vue énergétique et du confort des usagers [2, 6], la modélisation des bâtiments pour améliorer la sécurité des usagers [3], la gestion dynamique des capteurs en utilisant des techniques d'apprentissage artificiel [4], pour n'en citer que quelques-uns.

La problématique centrale dans ce sujet de thèse est relative à l'intégration de l'utilisateur dans le bâtiment intelligent et aux services que ce dernier pourra rendre à ces usagers. L'objectif du partenaire industriel associé à cette thèse est de créer des bâtiments qui soient à la fois efficaces du point de vue énergétique, écologique, et du point de vue de leur usage. Ainsi, la qualité de l'environnement t'en des points de vue logistique qu'ergonomique affecte grandement la productivité des occupants et leur santé [7]. Par exemple, si la température dans l'environnement est trop froide, une sensation de paresse et d'inconfort sera ressentie par les occupants. Ceci peut être responsable de problèmes de santé (physique ou psychique) pouvant affecter les occupants et diminuer leur productivité [2, 8]. Un autre exemple concerne les conditions d'éclairage selon l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [9]. Ainsi, de nombreux travaux se sont intéressés à l'étude de l'impact du bâtiment sur ses usagers en fonction de critères tels que les services logistiques rendus, le confort physique (par exemple visuel) en utilisant des techniques d'intelligence artificielle, notamment liées à la modélisation des connaissances via l'utilisation de modèles d'information du bâtiment (BIM) [6].

Parmi tous les travaux relatifs aux services aux usagers dans les bâtiments intelligents, la majorité se concentre sur des propositions d'architectures technologiques utilisant l'IOT et différentes techniques d'IA [5, 10, 11, 12]. Toutefois, selon notre connaissance de la littérature scientifique, peu de travaux s'intéressent à la modélisation des besoins des utilisateurs selon différents points de vue (organisationnel, logistique, économique, écologique, ergonomique) et à la mise en œuvre en considérant différentes propriétés propres à un système tel qu'un bâtiment intelligent : hétérogénéité des usagers et des missions, distribution physique et organisationnelle, sécurisation et respect de la vie privée (RGPD), robustesse. Des travaux se sont intéressés ponctuellement à ces différents éléments, mais rarement à la modélisation du bâtiment intelligent avec une vision holistique.

Ainsi, les questions de recherche initiales de cette thèse peuvent être formulées ainsi :

- Comment modéliser un bâtiment intelligent en mettant l'utilisateur au centre des services rendus par le bâtiment ?
- Comment un bâtiment peut s'adapter dynamiquement aux exigences de ses usagers et aux contraintes imposées par son environnement ?
- Comment permettre aux usagers d'interagir et de comprendre le fonctionnement du bâtiment ?
- Un smartbuilding permettra-t-il de trouver des mutualisations de fonctionnement, permettant de réduire les espaces bâtis, et donc de faire des économies ?
- Quelles conséquences environnementales ces technologies du numérique représentent-elles ?

- Quelles conséquences sur la qualité de vie des occupants l'IA pourrait-elle amener ?

Ces différentes questions de recherche peuvent être abordées selon le prisme des systèmes multi-agents [13], qui permettent la modélisation de systèmes distribués, autonomes et intelligents en utilisant une vision holistique (voir holonique) [14] et intégrant l'utilisateur dans et sur le système [15].

3) Travaux envisagés :

Les différentes questions mentionnées ci-dessus devront être traitées et exploitées conjointement aux problématiques pragmatiques imposées par le partenaire industriel. Le doctorant devra réaliser un état de l'art durant ses premiers mois de recherche afin d'affiner les questions scientifiques et dégager une direction de recherche pouvant répondre aux problématiques scientifiques et technologiques des partenaires impliqués dans ce projet de thèse. Le doctorant proposera alors un modèle de système multi-agent permettant de répondre aux problématiques mentionnées ci-dessus.

D'un point de vue pratique, la mise en œuvre des modèles qui seront proposés par le doctorant pourra être réalisée dans l'un des bâtiments du partenaire industriel impliqué. Pour ce volet d'expérimentation et de test, le doctorant bénéficiera des données collectées dans le bâtiment intelligent de Kadham.

Références bibliographiques :

[1] BUCKMAN, Alex H., MAYFIELD, Martin, et BECK, Stephen BM. What is a smart building?. *Smart and Sustainable Built Environment*, 2014.

[2] Bing Dong and Vishnu Prakash and Fan Feng and Zheng O'Neill ; A review of smart building sensing system for better indoor environment control. *Energy and Buildings*, vol. 199, pp. 29-46. DOI : 10.1016/j.enbuild.2019.06.025 . 2019.

[3] María D. Martínez-Aires and Mónica López-Alonso and María Martínez-Rojas. Building information modeling and safety management: A systematic review. *Safety Science*, vol. 101, p. 11-18. DOI : 10.1016/j.ssci.2017.08.015. 2018.

[4] Djenouri, Djamel and Laidi, Roufaida and Djenouri, Youcef and Balasingham, Ilango. Machine Learning for Smart Building Applications: Review and Taxonomy. *ACM Comput. Surv.*, paper 24, 36 pages. DOI : 10.1145/3311950. 2019.

[5] A. Verma, S. Prakash, V. Srivastava, A. Kumar and S. C. Mukhopadhyay, "Sensing, Controlling, and IoT Infrastructure in Smart Building: A Review," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 20, pp. 9036-9046, 15 Oct.15, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2922409.

[6] A. Latifah, S. H. Supangkat and A. Ramelan, "Smart Building: A Literature Review," *2020 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICISS50791.2020.9307552.

[7] H. Y. Choi, S. E. Kim, H. W. Lee and E. J. Kim, "Social behavioral problems and the health-related quality of life in children and adolescents with epilepsy", *Psychiatry Investig.*, vol. 13, no. 5, pp. 488-495, Sep. 2016.

[8] D. P. Wyon, "The effects of indoor air quality on performance and productivity", *Indoor Air Suppl.*, vol. 14, no. SUPPL. 7, pp. 92-101, 2004.

[9] N. Gentile, T. Laike and M. C. Dubois, "Lighting control systems in individual offices rooms at high latitude: Measurements of electricity savings and occupants' satisfaction", *Sol. Energy*, vol. 127, pp. 113-123, Apr. 2016.

[10] Moreno, M. Victoria, Miguel A. Zamora, and Antonio F. Skarmeta. "An IoT based framework for user-centric smart building services." *International Journal of Web and Grid Services* 11.1 (2015): 78-101.

[11] Nati, Michele, et al. "Smartcampus: A user-centric testbed for internet of things experimentation." *2013 16th International symposium on wireless personal multimedia communications (WPMC)*. IEEE, 2013.

[12] MARTINS, Flavio, ALMEIDA, Maria Fatima, CALILI, Rodrigo, *et al.* Design Thinking Applied to Smart Home Projects: A User-Centric and Sustainable Perspective. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 23, p. 10031.

[13] WOOLDRIDGE, Michael. *An introduction to multiagent systems*. John wiley & sons, 2009.

[14] COSENTINO, Massimo, GAUD, Nicolas, HILAIRE, Vincent, *et al.* ASPECS: an agent-oriented software process for engineering complex systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2010, vol. 20, no 2, p. 260-304.

[15] MUALLA, Yazan, TCHAPPI, Igor Haman, NAJJAR, Amro, *et al.* Human-agent Explainability: An Experimental Case Study on the Filtering of Explanations. In : *ICAART (1)*. 2020. p. 378-385.

Profil demandé :

- Un diplôme de master ou équivalent en informatique, intelligence artificielle ou autre spécialité connexe
- Un très bon niveau de maîtrise en programmation orientée-objet est nécessaires (Java, C#, Python)
- Des connaissances en systèmes multi-agents, apprentissage machine, Internet des objets seront appréciées
- Maîtrise du français (oral et écrit) exigée
- Une bonne maîtrise de l'anglais (oral et écrit) est exigée

Lieux d'exercice : Société Kardham à Paris et Laboratoire CIAD à Belfort

Financement : Contrat à durée déterminée de 3 ans dans la société Kardham selon les modalités d'un financement de type CIFRE. Salaire 40k€ à 60k e à à négocier avec Kardham.

Dossier à envoyer au plus tôt

Début estimée du contrat de thèse : septembre 2022

Possibilité d'avoir un stage ou un contrat à durée déterminer avant le recrutement officiel en septembre 2022.

Candidatures :

Les candidatures doivent être envoyées par email à :

- Prof. dr. Stéphane GALLAND <stephane.galland@utbm.fr>
- Dr. Emmanuel DUFRASNES <emmanuel.dufresnes@strasbourg.archi.fr>
- Dr. Nicolas COCHARD <ncochard@kardham.com>
- M. Pascal ZERATES <pzerates@kardham.com>

Le dossier de candidature doit contenir :

- un CV détaillé
- une copie du diplôme de Master ou tout document attestant du niveau de Master
- une copie des bulletins de notes de Master
- une copie de la carte d'identité ou d'un passeport
- une lettre de motivation, références et/ou une à deux lettres de recommandation

Tout dossier incomplet sera rejeté.

Direction / codirection de la thèse :

- Directeur de thèse : Prof. dr. Stéphane GALLAND
- Co-encadrement de thèse : Dr. Emmanuel DUFRASNES

Encadrement dans la société Kardham :

- Dr. Nicolas COCHARD (Directeur R&D de Kadham)
- M. Pascal ZERATES (Directeur de Kardham Digital)