

Simulation multi-agent des comportements en relation avec le confort thermique et l'autoconsommation énergétique des bâtiments à l'échelle du quartier

CPER-FEDER

Programme Bâtiment Durable – PEDOBUR

Y. Haradji - C. Inard – N. Sabouret – M. Schumann

Septembre 2017

Mots-clefs :

Simulation Multi-Agent, Simulation de Comportements dans l'Habitat, Simulation multi-niveau, Modélisation du confort, Autoconsommation, Bâtiment réactif.

Contexte général

L'impact du comportement des occupants sur les performances énergétiques des bâtiments est reconnu comme un verrou scientifique, en particulier pour les bâtiments à basse consommation, dont le comportement est très sensible aux phénomènes à dynamiques rapides, tels que les flux solaires ou la présence des occupants [Candanedo et al., 2017; Carlucci et al., 2016]. Il est donc important de pouvoir étudier en amont, à l'aide de simulations, comment le comportement des individus va impacter la performance énergétique du bâtiment.

De plus, les logements modernes sont capables de produire, de stocker et de consommer de l'énergie : on parle de bâtiment réactif. Les prises de décision des occupants dans ces logements ont un impact significatif sur les performances du logement lui-même (niveau de consommation, confort des occupants), et sur son environnement (au sens large : réseau électrique et autoconsommation partagée, thermique du quartier, qualité d'air...).

Le contexte général de nos travaux est celui de la simulation de l'impact des comportements humains sur les performances d'un bâtiment à énergie positive et sur son environnement.

Contexte industriel & travaux antérieurs

L'étude de la consommation énergétique dans le bâtiment en relation avec le comportement des habitants a fait l'objet de nombreux travaux au sein d'EDF R&D. En particulier, EDF développe depuis plusieurs années, en partenariat avec le CNRS et plusieurs laboratoires universitaires, le simulateur SMACH (pour Simulation Multiagent de l'ACTivité Humaine) qui permet d'étudier la consommation énergétique dans le secteur résidentiel en partant de l'activité des individus dans un foyer [Amouroux et al., 2013]. L'intérêt de cet outil est de pouvoir produire une grande variété de scènes de vie quotidienne en tenant compte de la composition du ménage, du type d'habitat, de caractéristiques comme le niveau de revenus, les habitudes du foyer, etc. SMACH produit des diagrammes d'activité, des courbes de charge et des informations sur le confort des individus.

Dans le cadre du projet ANR SUPERBAT (2011-2015), le moteur de simulation SMACH a été couplé à des modèles thermiques de bâtiments. Cela permet de produire des courbes de charge et de consommation d'énergie des bâtiments prenant en compte le comportement des occupants

(chauffage et usages électriques). Dans un souci d'interopérabilité et de pérennité, la connexion avec les modèles énergétiques des bâtiments est réalisée par le biais du standard d'interopérabilité FMI (wrapper JavaFMI). La simulation thermique dynamique est réalisée avec la bibliothèque Modelica *BuildSysPro*, et le modèle de bâtiment exporté au format FMU [Plessis, 2011].

Notre objectif actuel est de faire évoluer ces modèles de comportement et les modèles énergétiques des bâtiments en les adaptant au nouveau contexte du bâtiment réactif, autoconsommateur/stockeur/producteur, connecté à son réseau, et assurant le confort des occupants.

L'objectif de la thèse est d'étudier, à travers des simulations multi-agents, l'impact des comportements humains sur la thermique du bâtiment, en relation avec le confort thermique et l'autoconsommation d'énergie. Ces problématiques d'autoconsommation d'énergie et de bâtiment à énergie positive sont aujourd'hui absentes du modèle SMACH : le doctorant devra proposer des modèles théoriques pour rendre compte de ces comportements et simuler des bâtiments réactifs. Il devra les implémenter dans la plate-forme et valider les scénarios produits. Il travaillera pour cela en collaboration étroite avec les chercheurs en simulation énergétique du LaSIE et d'EDF R&D.

Problématiques scientifiques

La simulation multi-agent de systèmes complexes est un domaine de recherche en pleine expansion [Sun, 2006]. À mesure que les outils informatiques et les modèles permettent de simuler des populations de plus en plus grandes avec des niveaux de détails de plus en plus élevés, de nombreux travaux se sont intéressés à représenter les modèles de décisions des individus et à mesurer leur impact sur leur environnement, réel ou simulé. On parle de simulation sociale (*Agent Based Social Simulation*) [Ghorbani et al., 2013].

La simulation des comportements liés au confort thermique et à l'autoconsommation d'énergie des bâtiments est un problème difficile qui n'a pas encore été traité. Deux questions de recherche seront principalement considérées dans cette thèse.

Au niveau informatique, quels sont les mécanismes qu'il faut définir pour représenter et simuler efficacement les interactions entre les individus, avec les bâtiments, entre les bâtiments et entre les usagers ? Par exemple, les individus et les bâtiments peuvent communiquer entre eux pour s'échanger de l'énergie, la conserver, la répartir en fonction des usages, tout en tenant compte du confort thermique individuel.

Au niveau de la simulation, comment prendre en compte les différentes personnalités des individus et leur impact sur l'autoconsommation d'énergie ? Par exemple, des travaux en psychologie sociale ont montré que les individus pouvaient adopter des comportements très différents selon qu'ils sont plutôt tournés vers les bénéfices apportés par leurs actions ou vers les risques [Higgins, 2000]. Quelle est alors la relation entre le comportement individuel (niveau local) et les phénomènes agrégés qui peuvent être observés ou simulés (niveau global) ?

L'objectif de cette thèse est de répondre à ces différentes questions à travers la simulation multi-agent. Il s'agit de définir des modèles informatiques, de les implémenter et de valider les comportements simulés à partir de données terrain.

État de l'art

Les méthodes de simulation dans le contexte de la gestion intelligente de l'énergie utilisent différentes approches, parmi lesquelles on peut distinguer :

- Les modèles psychologiques tels que Theory of Planned Behavior, Motivation and Opportunity as Determinants (MODE) et Needs-Opportunities-Abilities (NOA) [Fazio, 1999] ;
- Les modèles basés sur des valeurs moyennes pour lesquels sont définies les impacts des paramètres primordiaux du comportement des usagers sur la consommation énergétique des bâtiments et ceci pour des périodes données (journée, semaine, mois...) [Lee, 2011] ;
- Les modèles déterministes qui utilisent des profils d'occupation et de comportement prédéfinis, les modèles probabilistes basés sur la méthode de Monte Carlo, les chaînes de Markov ou les réseaux de neurones et les modèles dits « action-based » qui sont une combinaison entre les modèles déterministes et probabilistes [Yan et al., 2015; Flett et Nick, 2016].
- La plupart de ces modèles utilisent des scénarios hebdomadaires répétitifs pour simuler l'action des usagers sur le bâti (apports internes, protections solaires, aérations...), qui plus est indépendants de la notion de confort. Les modèles utilisant les Systèmes Multi-Agents (SMA) visent à contourner cette limitation en définissant des comportements individuels variés. L'un des principes de ces modèles est que les usagers simulés interagissent non seulement avec leur environnement mais également entre eux. Ainsi, le modèle proposé par [Kashif, 2012] et [Yang, 2013] proposent des modèles de comportement des individus pour anticiper la consommation énergétique d'un foyer.

Dans ces modèles, la notion de confort thermique est rarement prise en compte alors qu'il a été montré qu'elle joue un rôle important dans la détermination de l'activité [Cahour, 2010]. L'un des premiers objectifs de cette thèse est donc de proposer un modèle informatique de l'impact du confort thermique sur l'activité des usagers et sur la consommation énergétique des bâtiments.

De plus, les modèles actuels de simulation multi-agent de l'activité humaine pour la gestion intelligente de l'énergie ne prennent pas en compte la problématique récente de l'autoconsommation d'énergie. L'un des enjeux de cette thèse sera donc de définir des modèles informatiques pour la simulation des comportements liés à l'autoconsommation d'énergie, aussi bien au niveau de l'individu que du foyer et du groupe de logements pour un quartier.

Programme de travail

La thèse peut être décomposée en trois parties principales :

1. Etat de l'art

L'objet de l'état de l'art est d'étudier les différents travaux sur l'impact du comportement des occupants sur les performances des bâtiments (dont ceux de l'annexe 66 de l'AIE), avec un focus particulier sur les SMA, et d'éventuelles approches hybrides pertinentes pour la problématique étudiée. L'état de l'art permettra également d'identifier les limites des indicateurs de confort thermique actuellement implémentés dans les simulateurs SMA de comportement des occupants et les éventuels besoins d'évolution de ces indicateurs (par exemple le modèle de Fanger [van Hoof, 2008] implémenté dans le logiciel SMACH).

2. Évolution des modèles de comportement et d'activités dans le cadre du bâtiment réactif connecté à son réseau

Le comportement humain peut être amené à changer si le ou les foyers se situent dans un environnement où l'utilisation de l'électricité s'articule avec de la production locale, du stockage ou de l'autoconsommation. Le modèle de comportement SMA sera alors très différent. Actuellement l'utilisateur consomme, mais il sera amené rapidement à prendre des décisions de production, de consommation réseau ou local, de négociation avec les voisins, de revente de l'électricité produite... Ce sont des modèles plus complexes (modèle de décision, négociation, apprentissage) impliquant potentiellement plusieurs foyers.

Les travaux envisagés seront ainsi :

- Évolution des modèles de bâtiments (au-delà de la thermique) pour réaliser un modèle énergétique de bâtiment producteur et intégrer les aspects électriques (ENR, stockage, voire véhicule électrique), et des capacités d'effacement (bâtiment communicant et répondant à des appels/ordres).
- Adaptation des mécaniques de comportement SMA aux capacités du bâtiment producteur (modèle de décision, négociation, transaction, apprentissage...), à l'échelle du bâtiment seul, et pour les échanges énergétiques à l'échelle locale (quartier)
- Évolution des mécaniques de comportement des SMA aux nouvelles problématiques de confort : en particulier, réactions des occupants à des pertes de confort temporaires liées à des actions d'effacement et de pilotage des équipements

3. Validation

L'objectif de cette dernière partie est de travailler à la méthodologie de validation des modèles couplés SMA/bâtiment, en confrontant simulation et réalité sous différents angles à définir :

- Validation à l'échelle du logement et de la famille individuelle ;
- Validation à plus grande échelle (énergétique à l'échelle quartier, 20 logements) ;
- Validation des modèles thermique *per se* ;
- Validation des comportements via la comparaison à des comportements réels ;
- Validation statistique.

Cette question méthodologique est essentielle pour déterminer la portée et limites de la simulation SMA appliquée à cette problématique. La thèse s'attachera donc à développer une méthodologie de validation adaptée, qui pourra ou non être confrontée à des jeux de données réelles, selon leur disponibilité.

Profil du candidat

Le candidat devra avoir un Bac+5 en informatique ou équivalent (école d'ingénieur avec spécialisation en informatique par exemple). Une formation en Systèmes Multi-Agents et Intelligence Artificielle est requise.

Dans le contexte pluridisciplinaire de la thèse, des notions en physique du bâtiment et une appétence pour les Sciences Humaines et Sociales seraient particulièrement appréciées.

La maîtrise de la langue anglaise est indispensable.

Informations pratiques

Le candidat résidera en région parisienne. Il travaillera sur le site EDF R&D de Saclay et au LIMSI-CNRS à l'Université Paris-Saclay (les deux sites sont situés à 10 minutes en bus). Dans le cadre de la thèse, il sera amené à travailler ponctuellement au LaSIE (La Rochelle) et sur le site EDF R&D des Renardières (près de Fontainebleau). L'ensemble de ses déplacements dans le cadre du doctorat sera pris en charge.

Le doctorant percevra un salaire de **1780 € nets** mensuels.

Contact : Nicolas.Sabouret@limsi.fr

Références

E. Amouroux, Th. Huraux, F. Sempé, N. Sabouret, Y. Haradji. [*SMACH : Simuler l'activité humaine pour limiter les pics de consommation électrique*](#), In Proc. 21st Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA), 2013.

J. R. Anderson. *ACT: A simple theory of complex cognition*. American Psychologist, 51(4), 355, 1996.

B. Cahour. *Émotions, affects et confort comme nouveaux déterminants de l'activité et de l'usage*. In Ergonomie, conception de produits et services médiatisés, pp. 273-305. Presses Universitaires de France, 2010.

L.M. Candanedo, V. Feldheim, Deramaix D. *Data driven prediction models of energy use of appliances in a low-energy house*. Energy and Buildings, 140, 81-97, 2017.

S. Carlucci, G. Lobaccaro, Y. Li, E. Catto Lucchino, R. Ramaci. *The effect of spatial and temporal randomness of stochastically generated occupancy schedules on the energy performance of a multiresidential building*. Energy and Buildings, 127, 279-300, 2016.

R. H. Fazio, T. Towles-Schwen. *The MODE model of attitude-behavior processes*. In Dual-process theories in social psychology, 97-116, 1999.

G. Flett, K. Nick. *An occupant-differentiated, higher-order Markov Chain method for prediction of domestic occupancy*, Energy and Buildings, 125, 219-230, 2016.

A., Ghorbani, P. Bots, V. Dignum, G. Dijkema. *MAIA: a framework for developing agent-based social simulations*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 16(2), 9, 2013.

E. T. Higgins. *Making a good decision: value from fit*. In American psychologist, 55(11), 1217, 2000.

J. van Hoof. *Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?* In Indoor Air, 18(3) : 182-201, 2008.

A. Kashif, S. Ploix, J. Dugdale, X. H. B. Le. *Simulating the dynamics of occupant behaviour for power management in residential buildings*. In Energy and Buildings, 2012.

Y. S. Lee, Y. K. Yi, A. Malkawi. *Simulating Human Behaviour and its Impact on Energy Uses*. In Proc. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association (IBPSA), pp. 1049-1056, 2011.

G. Plessis, S. Filfli, C. Muresan, H. Bouia. *Using design of experiments methods to develop low energy building model under modelica*. In Proc. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association IBPSA 2011.

R. Sun (Ed.). *Cognition and multi-agent interaction: From cognitive modeling to social simulation*. Cambridge University Press, 2006.

D. Yan, W. O'Brien, T. Hong, X. Feng, H. Burak Gumay, F. Tahmasebi, A. Mahdavi. *Occupant behavior modeling for building performance simulation : Current state and future challenges*. Energy and Buildings, 107, 264-278, 2015.

R. Yang, L. Wang. *Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors*. In Energy and Buildings, 56:1-7, 2013.