

Simulations multi-agents de l'activité humaine : application dans le contexte énergétique résidentiel français

Thomas Huraux^{1,2}, Nicolas Sabouret³, Yvon Haradji¹, François Sempé

¹ EDF R&D, Département ICAME, France
yvon.haradji@edf.fr

² LIP6, CNRS UMR 7606 – Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, France
thomas.huraux@lip6.fr

³ LIMSI-CNRS, UPR 3251 – Université Paris-Sud, France
nicolas.sabouret@limsi.fr

Résumé : Dans cet article, nous présentons la plateforme SMACH qui permet aux experts d'EDF de représenter et étudier l'activité des habitants dans leurs foyers pour la mettre en relation avec la consommation électrique. En se basant sur la modélisation des habitants, de leurs tâches et des appareils présents dans le logement, la plateforme utilise le paradigme des systèmes multi-agents pour permettre à la fois des simulations automatiques et des simulations participatives où des clients EDF jouent leurs propres rôles dans le foyer.

Mots-clés : systèmes multi-agents, comportements humains, simulation participative, consommation électrique

1 Introduction

Une difficulté majeure pour les producteurs d'électricité comme EDF, à mesure que la consommation énergétique augmente, est de pouvoir s'adapter en temps réel à la demande des clients pour maintenir une fréquence stable. En cas de déséquilibre (une demande trop forte par rapport à la production ou le contraire), le système peut se retrouver en *black out* : risques de délestage fréquence-métrique, emballements des machines de production synchrones, *etc.* En France, la production électrique repose en grande partie sur le nucléaire (plus de 76% de la production). Cette production est stable puisque peu modulable au niveau des centrales et le démarrage d'une tranche (c.-à-d. un réacteur et son système de production associé) est lent. Pour faire face aux pics de demande, les producteurs utilisent donc l'hydraulique de retenue (barrages) et les centrales thermiques à énergie carbonées. Ces centrales à énergies carbonées ont un démarrage rapide et une puissance facilement ajustable mais elles produisent beaucoup de CO_2 et contribuent au réchauffement climatique (André & Royer (1999)). C'est pourquoi EDF s'intéresse de plus en plus à comprendre et réduire les pics de consommation au niveau des consommateurs, pour limiter le recours à ce type de centrales afin de pouvoir mobiliser des ressources moins réactives mais surtout moins polluantes.

Dans ce contexte, deux observations peuvent être faites : le bâtiment représente 44%¹ de la consommation en énergie finale (Fig. 1) et la consommation de ce secteur est caractérisée par une grande variabilité dûe aux comportements humains qui sont, par nature, un phénomène complexe. En effet, la dynamique du comportement humain dépend des caractéristiques de

1. chiffre du Ministère de l'écologie



FIGURE 1 – Consommation finale par secteur (source EDF)

l’habitant, de ses perceptions et interactions avec l’environnement et les autres habitants, ce qui rend sa prédiction par le calcul difficile (Batty & Torrens (2001)). C’est pourquoi comprendre et analyser les comportements des usagers dans les foyers est une problématique majeure pour la réduction de la consommation énergétique.

Deux solutions sont envisageables pour étudier et anticiper les comportements. D’une part l’expérience en situation réelle permet aux ergonomes d’étudier l’activité humaine. D’autre part la simulation peut permettre, en fonction des simplifications informatiques, de reproduire artificiellement des phénomènes de consommation liés aux comportements humains (Kashif *et al.* (2012); Amouroux *et al.* (2013)). Cette approche à base de simulation fournit aux experts de nouveaux outils pour mettre en relation comportements et consommation électrique. La difficulté est alors de pouvoir considérer le système dans son ensemble, de pouvoir reproduire les phénomènes émergents qui intéressent les experts, tout en le simplifiant suffisamment pour être compréhensible et manipulable par ces experts. Pour répondre à cette difficulté, nous proposons la plateforme de modélisation et de simulation SMACH.

2 De l’ergonomie à la simulation multi-agent

Ces dernières années, nous avons développé au sein d’EDF la plate-forme SMACH (Haradji *et al.* (2012); Amouroux *et al.* (2013); Hureau *et al.* (2014)). L’idée de cet outil est de permettre aux experts du domaine de simuler l’activité quotidienne des foyers. En particulier, nous essayons d’anticiper comment l’organisation des activités s’adapte face à de nouvelles contraintes (prix de l’électricité, nouveaux systèmes techniques, événements inattendus, *etc.*).

L’approche que nous présentons dans cet article repose sur deux propriétés fondamentales : (1) modéliser simplement le comportement humain dans le contexte de la consommation électrique des foyers et (2) proposer des mécanismes réalistes d’auto-adaptation (lors des simulations) de l’activité du foyer. Afin de satisfaire ces deux propriétés tout en maintenant une accessibilité aux experts du domaine, nous avons choisi une description de l’activité humaine basée autour des principes de l’action/cognition située (Relieu *et al.* (2004); Salembier & Pavard (2004); Salembier & Zouinar (2004); Haué (2004)).

Nous considérons que reproduire un comportement humain en simulation, c’est reproduire pour une étude donnée une suite d’échanges entre l’individu simulé et son environnement. La réussite de cet objectif repose sur la validation des comportements produits par la simulation. En ce sens, la validation représente un enjeu important. Le niveau de validité des comportements est l’un des choix de modélisation à réaliser en fonction des besoins du simulateur. Dans le cadre de nos travaux, cette étape a nécessité plusieurs ajustements. Au départ basée sur une description très précise, nous avons choisi aujourd’hui de reproduire l’activité sous la forme d’un enchaînement de tâches par l’habitant. Le modèle est centré sur certaines caractéristiques

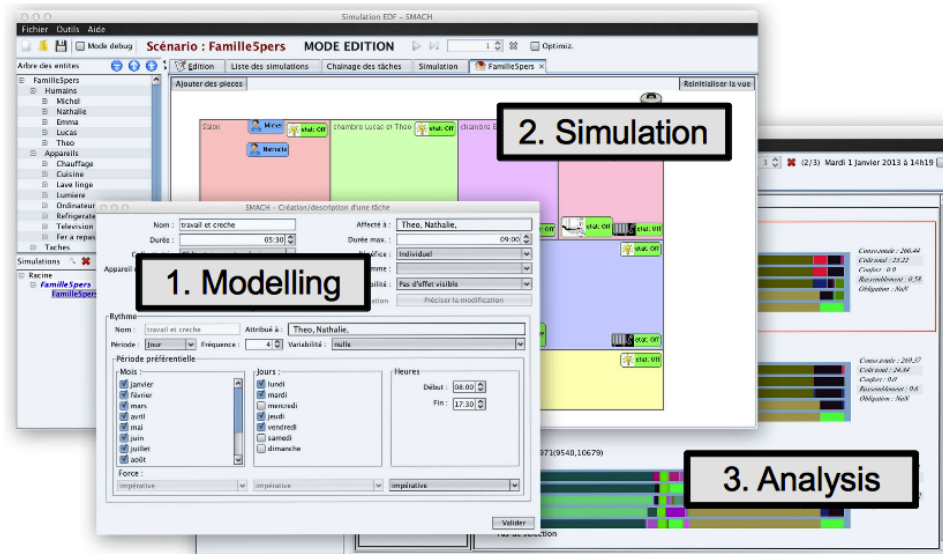


FIGURE 2 – Interface de la plateforme SMACH

de l'activité humaine (priorité de réalisation, pré-condition entre les tâches, période préférentielle dans la journée,...) et sur des éléments de coordination plutôt que sur des mécanismes fins de décision (*e.g.* un raisonnement sur les états internes des habitants comme la fatigue et la faim, leurs intentions, ...). Nous défendons l'idée que le réalisme peut ne pas être visé lorsqu'il n'est pas nécessaire à l'objectif d'aide à la décision (Haradji *et al.* (2012)). Dans la section suivante, nous présentons le fonctionnement de la plateforme SMACH.

3 La plateforme SMACH

Comme illustré sur la figure 3, l'utilisation de la plateforme peut se résumer en trois grandes étapes : (1) Modélisation d'un foyer par la description de ses habitants, tâches et appareils sous la forme d'un scénario (2) Réalisation de simulations où chaque habitant est représenté par un agent (3) Analyse des résultats sous forme de traces d'activité et de courbes de consommation.

3.1 Création d'un scénario

Nous appelons scénario la description d'un foyer dans la plateforme SMACH. Un scénario est défini comme un ensemble d'habitants, de tâches et d'appareils électriques.

L'élément central est la notion de tâche. Ces tâches peuvent nécessiter des appareils ménagers, qui sont définis dans un environnement. Nous parlerons d'*actions* pour la réalisation des tâches par les habitants. Une tâche peut avoir un rythme correspondant à une certaine régularité dans sa réalisation. Un rythme est caractérisé par une fonction périodique qui associe chaque moment de la simulation à une probabilité de réalisation.

Chaque membre du foyer est représenté par un agent habitant. Les principales propriétés d'un habitant sont un ensemble d'actions qu'il peut effectuer, un âge, un sexe et un niveau de

frilosité.

Un appareil électrique est caractérisé par une consommation électrique. Certains appareils disposent de programmes de consommation. Ces programmes sont définis comme des courbes de consommation provenant de la base de données REMODECE² caractérisant la consommation d'appareils en situation réelle. Les appareils peuvent avoir une puissance en veille (comme la télévision, l'ordinateur, ...) et un thermostat (chauffage).

En se basant sur les données d'un foyer réel ou sur les caractéristiques d'une typologie de foyer, l'utilisateur de la plateforme renseigne les éléments du scénario. Cette étape se fait à l'aide d'une interface de modélisation développée avec les ergonomes partenaires et pensée spécifiquement pour les experts du domaine de l'énergie.

3.2 Simuler la vie quotidienne des foyers

Dans SMACH, chaque membre du foyer est représenté par un agent. Ces agents sont synchrones et sélectionnent, à chaque pas de temps, l'action à exécuter en se basant sur leur priorité. De plus, un niveau de confort thermique est calculé pour chaque agent en utilisant l'équation de Fanger (van Hoof (2008)).

Les habitants d'un foyer peuvent communiquer pour échanger des informations ou demander de l'aide. Pour ce faire, nous utilisons un protocole de communication multi-agent inspiré de FIPA-ACL (FIPA consortium (2003)). Les performatifs principaux sont : *es-tu prêt à ... ?*, *que fais-tu ?*, *as-tu fait ... ?*, *peux-tu faire ... ?* et leur réponse *je fais ...*, *non*, *oui*, *plus tard*.

Un agent habitant sélectionne l'action à effectuer en fonction de ses priorités qui dépendent notamment de ses communications (*i.e.* incitation des autres agents à faire quelque chose). La priorité d'une action est réévaluée à chaque pas de temps et l'agent exécute l'action ayant la priorité maximale parmi les actions réalisables. Une action est réalisable si toutes ses préconditions sont satisfaites (*e.g.* l'action *repasser* nécessite la réalisation préalable de l'action *laver le linge*) et si l'appareil électrique éventuellement nécessaire est disponible (*e.g.* l'action *repasser* nécessite un fer à repasser). Les agents peuvent également réaliser des actions pour tenter d'améliorer leur confort thermique (changer les températures de consigne, ouvrir une fenêtre, ...) (Plessis *et al.* (2014)).

Pendant la simulation, l'utilisateur peut suivre l'évolution de la consommation instantanée, les températures dans le logement, le confort des individus et leurs diagrammes d'activité. Cette représentation graphique de l'activité (Fig. 3.3.2), où chaque couleur correspond à une tâche, permet de visualiser le comportement d'un habitant durant la journée. Ainsi, ce diagramme permet de retrouver l'activité précise d'un habitant à chaque instant de la simulation.

3.3 Mettre en relation activité humaine et consommation électrique

La plateforme a été conçue avec les ergonomes d'EDF de manière à permettre aux experts de simuler l'activité d'un foyer. Une fois les caractéristiques des occupants et de l'habitat renseignées, il est possible de simuler l'organisation du foyer (par exemple l'organisation d'une famille le matin avant de partir au travail) et de lancer de multiples simulations produisant ainsi une diversité de comportements.

2. REMODECE : European database on residential consumption - <http://remodece.isr.uc.pt>

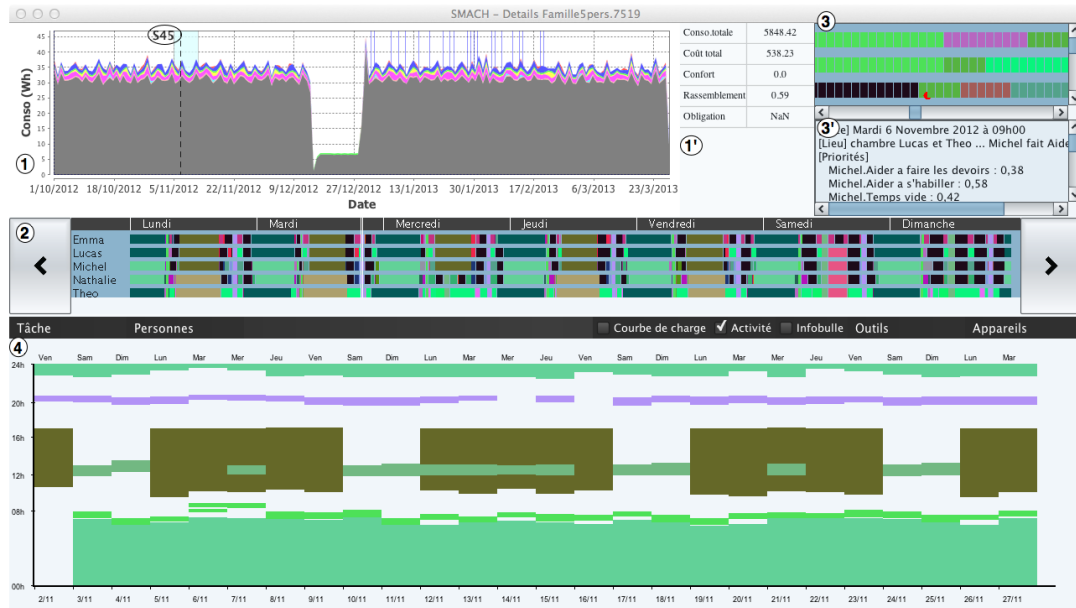


FIGURE 3 – IHM en mode analyse

Chaque simulation est liée à une courbe de consommation électrique permettant aux experts de comparer et d'évaluer les comportements en relation avec leurs consommations. La plateforme permet ensuite de revenir sur la modélisation du foyer pour tester de nouvelles caractéristiques. Cet aller-retour au sein de la plateforme entre modélisation et simulation permet aux experts métiers d'anticiper une consommation d'énergie résultant de comportements humains.

L'IHM d'analyse de simulation de SMACH (Fig. 3.3) permet de voir simultanément les éléments suivants : (1) la consommation électrique globale avec une couleur par appareil ; (2) l'activité des habitants au cours d'une semaine (S25 sélectionnée en (1)) ; (3 et 3') le détail de l'activité par minute et (4) les rythmes effectifs des actions (l'axe horizontal représente l'écoulement des jours alors que l'axe vertical celui des heures de la journée).

4 Simulations participatives

La plateforme SMACH permet également la réalisation de simulations participatives dont l'utilisation a été montrée pertinente dans le cadre des SMA appliqués aux sciences humaines et sociales (Guyot & Drogoul (2004)). Leur intérêt est double : d'une part valider les modèles utilisés et, d'autre part, fournir un outil semi-automatique pour l'étude des comportements dans l'habitat.

4.1 Entretiens préalables avec des clients EDF

La simulation participative commence par la réalisation d'entretiens préalables dans des foyers. Ces entretiens, conduits par des ergonomes, permettent de dresser un portrait de l'activité dans le foyer afin de la transcrire sous forme de scénario dans SMACH. Un ou plusieurs

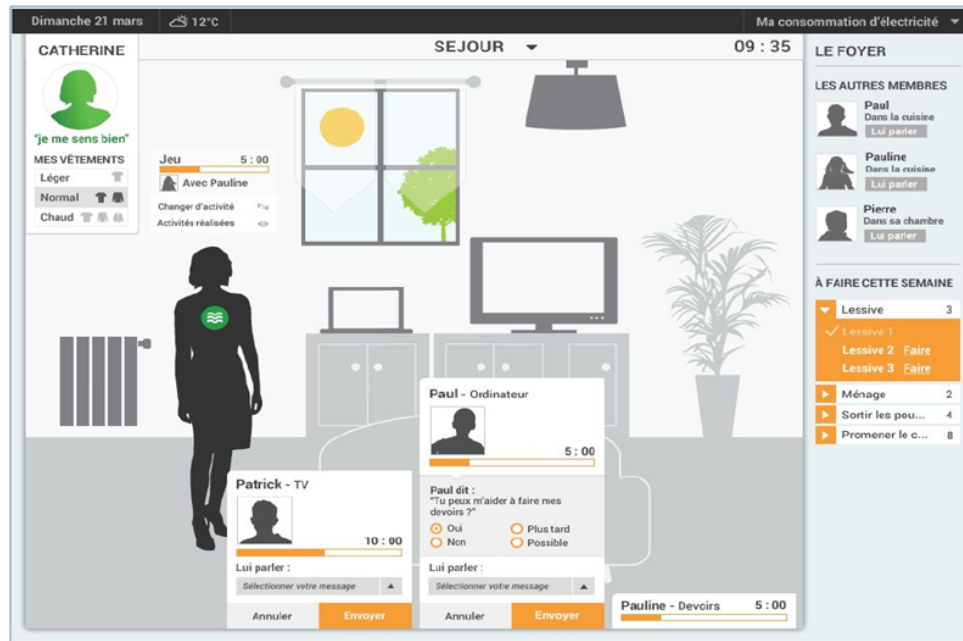


FIGURE 4 – La simulation participative dans SMACH

membres du foyer dressent un modèle de leur vie quotidienne : l'organisation du foyer, leurs habitudes, les repas, *etc.*

4.2 L'humain face à son avatar

Lors de la simulation participative, une personne réelle est placée face à une simulation de son quotidien où les autres membres de son foyer sont incarnés par des agents. En plus de donner ses retours et impressions sur la simulation, le sujet peut prendre le contrôle de son avatar en cours de simulation afin de modifier son activités ou encore certaines actions liées au confort (éclairage, chauffage, vêtue, ...). Son implication dans la simulation a pour but d'affiner les comportements produits automatiquement. Cela permet notamment d'éliciter le modèle d'activité pouvant comporter des oublis ou erreurs introduites lors des entretiens préalables ou pendant la réalisation du scénario par le modélisateur.

La figure 4 présente l'interface de simulation participative de la plateforme SMACH. Comme pour les simulations automatiques, nous recueillons l'ensemble des traces d'activités des avatars et des agents. Ces données nous permettent là encore d'étudier les comportements autour de l'énergie et de lier activité humaine et consommation électrique.

4.3 Mise en œuvre

Nous avons réalisé en fin d'année 2014 une expérimentation de simulation participative sur une dizaine de foyers bretons. Nous nous appuyons sur le projet OPCO mené par EDF R&D³

3. dans le cadre du dispositif "Une Bretagne d'avance"

pour des études sociologiques et statistiques afin d'évaluer l'impact d'un pilotage de la charge par des actions sur le chauffage en fonction de différentes variables d'influence (température extérieure, type de jour de la semaine, ...). Cette expérimentation nous a permis de récupérer des données quantitatives sur la consommation électrique de plus 300 clients résidentiels. Nous avons sélectionné un échantillon de ces clients pour la réalisation de simulations participatives.

Dans le cadre de nos travaux, les résultats attendus sont d'une part la validation des comportements simulés et, d'autre part, l'évaluation des consommations par mesures de distance aux profils de consommation mesurés dans OPCO. La validation des comportements est basée sur l'observation par les ergonomes de la prise en main des personnes lors de la simulation participative, de leurs remarques et ressentis.

Suite à cette expérimentation, notre objectif est de fournir aux experts EDF un outil fonctionnel permettant de mieux comprendre les liens entre pratiques et consommation dans une logique d'efficacité énergétique. Concrètement, les modèles de consommation seront calibrés et la plateforme sera adaptée (IHM, type de résultats retournés, *etc*) à une ou plusieurs applications métiers comme la création de nouvelles offres tarifaires, la génération d'activités humaines pour les études sur la thermique des bâtiments, jeux sérieux, ...

5 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté la plateforme SMACH dont l'objectif est de combiner les techniques de simulation multi-agent avec des outils permettant aux modélisateurs, experts de la gestion de l'énergie et du comportement humain, d'observer, de comprendre, d'analyser et de modifier les comportements des habitants simulés.

Les simulations participatives permettent d'une part de valider le modèle de comportement des agents en confrontant les clients EDF aux situations simulées. Et d'autre part de comparer les consommations produites aux données réelles mesurées sur le terrain pour valider les modèles de consommation dans SMACH. Nos premiers résultats de comparaisons entre les courbes de consommation issues des simulations participatives et les courbes réelles sont encourageants. Les données réelles de consommation étant antérieures aux données simulées, nous avons notamment pu identifier certains écarts importants de consommation qui se sont avérés correspondre à des bouleversements récents dans l'organisation du foyer (changement d'emploi, nouveaux membres dans la famille, ...).

Nous travaillons actuellement sur la question de la simulation mettant en jeu plusieurs disciplines et expertises à l'aide de SIMLAB, un modèle multi-agent multi-niveau (Huraux *et al.* (2014)).

Références

- AMOUROUX E., HURAUX T., SEMPÉ F., SABOURET N. & HARADJI Y. (2013). Smach : Simuler l'activité humaine pour limiter les pics de consommation électrique. *Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA)*, p. 51–60.
- ANDRÉ J.-C. & ROYER J.-F. (1999). Les fluctuations à court terme du climat et l'interprétation des observations récentes en termes d'effet de serre.
- BATTY M. & TORRENS P. M. (2001). Modeling complexity : the limits to prediction. *Cybergeo : European Journal of Geography*.

- FIPA CONSORTIUM (2003). *FIPA Communicative Act Library Specification and FIPA ACL Message Structure Specification*. Rapport interne, Foundation for intelligent physical agents.
- GUYOT P. & DROGOUL A. (2004). Designing multi-agent based participatory simulations. In *Proceedings of the 5th Workshop on Agent Based Simulations*.
- HARADJI Y., POIZAT G. & SEMPÉ F. (2012). L'activité humaine et la conception d'une plate-forme de simulation sociale. *Congrès de la SELF (Société d'Ergonomie de Langue française)*, p.41.
- HAUÉ J.-B. (2004). Intégrer les aspects situés de l'activité dans une ingénierie cognitive centrée sur la situation d'utilisation. *Activités*, **1**(2), 170.
- HURAUX T., SABOURET N. & HARADJI Y. (2014). A Multi-Level Model for Multi-Agent Based Simulation. In *Proc. of the 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART)*, Angers, France.
- KASHIF A., PLOIX S., DUGDALE J. & LE X. H. B. (2012). Simulating the dynamics of occupant behaviour for power management in residential buildings. *Energy and Buildings (online pre-print)*.
- PLESSIS G., AMOUROUX É. & HARADJI Y. (2014). Coupling occupant behaviour with a building energy model - a fmi application. *Proceedings of the 10th International Modelica Conference*.
- RELIEU M., SALEMBIER P. & THEUREAU J. (2004). Introduction au numéro spécial activité et action/cognition située. *Activités*, **1**(2), 3–10.
- SALEMBIER P. & PAVARD B. (2004). Analyse et modélisation des activités coopératives situées. évolutions d'un questionnaire et apports à la conception. *Activités*, **1**(1), 87.
- SALEMBIER P. & ZOUINAR M. (2004). Intelligibilité mutuelle et contexte partagé. *Inspirations conceptuelles et réductions technologiques*. *Activités*, **1**(2), 64–85.
- VAN HOOFF J. (2008). Forty years of Fanger's model of thermal comfort : comfort for all ? *Indoor Air*, **18**(3), 182–201.