

Un modèle multi-niveau pour simuler l'activité humaine dans le contexte de la consommation énergétique résidentielle

Thomas Huraux^{1,3}

Nicolas Sabouret²

Yvon Haradji¹

¹ EDF R&D, Clamart, France

² LIMSI-CNRS, Université Paris-Sud, Orsay, France

³ LIP6 - Université Pierre et Marie Curie, Paris, France

Résumé

Dans cet article, nous présentons un modèle pour la simulation multi-niveau qui fait coexister plusieurs niveaux sur différents axes, et nous l'utilisons pour étendre le simulateur SMACH¹ qui aide les énergéticiens à analyser l'activité des foyers en rapport avec la consommation. Nous présentons le modèle multi-niveau puis nous introduisons 3 axes de modélisation pour son utilisation dans le contexte de la consommation énergétique résidentielle : les populations, les activités et l'environnement. Nous présentons ensuite quelques éléments d'évaluation de l'impact des influences inter-niveaux sur la simulation et de la capacité de réification dynamique du modèle.

Mots Clés

Modélisation multi-niveau, Systèmes multi-agents, Simulation

Abstract

In this paper, we present a model for multi-level simulation with levels on several axes, and use it to extend the SMACH¹ simulator that helps energy experts to analyze household activities in relation to energy consumption. We first present the model. We then introduce three modeling axes : populations, activities and the environment. We then present a preliminary evaluation of the inter-level influences mechanism and the dynamic reification model.

Keywords

Multi-level Modeling, Multiagent Systems, Simulation

1 Introduction

La simulation de l'activité humaine, aussi bien pour des besoins d'analyse que pour la prédiction ou le contrôle, peut nécessiter de considérer des entités de différents niveaux. Par exemple, on peut vouloir s'intéresser à la fois à l'activité des individus dans le foyer qu'à des groupes sociaux et à l'impact des uns sur les autres. C'est pourquoi il est utile de considérer une modélisation *multi-niveau* de l'activité humaine, qui consiste à utiliser à la fois des représentations microscopiques et macroscopiques dans une même

simulation [13]. Une des méthodes pour aborder ces questions est le paradigme des systèmes multi-agents (SMA) basés sur l'utilisation de processus autonomes interagissant et échangeant des informations. L'approche la plus répandue en SMA consiste à considérer le niveau macro comme un phénomène émergent, résultant de la somme des représentations individu-centrées. Le modélisateur se contente alors de définir les comportements micro. Ce faisant, il perd le contrôle sur les dynamiques au niveau macroscopique, qui ne sont plus contrôlables directement. Cette question est soulevée par R. Keith Sawyer dans [2] : il souligne que l'hypothèse d'individualisme méthodologique est acceptée implicitement en SMA. Pourtant, les connaissances macro sont disponibles dans de nombreux domaines dont l'implémentation des concepts serait facilitée par une représentation explicite des entités macro. C'est pourquoi, dans cet article, nous nous intéressons à un modèle SMA qui fait co-exister des modélisations explicites de niveaux micro et macro.

Le contexte applicatif de nos travaux est celui de la consommation énergétique résidentielle qui est un phénomène micro/macro caractéristique : micro car la consommation des foyers résulte des activités des individus qui les composent ; macro car la synchronisation et l'agrégation de la demande impactent fortement le système énergétique global. En effet, l'une des principales difficultés auxquelles doivent faire face les fournisseurs d'énergie comme EDF est l'adaptation de la production aux pics de consommation, qui sont un phénomène macro résultant des comportements micro. Ces pics requièrent souvent l'utilisation de centrales à flamme, sources de gaz à effet de serre. Pour cette raison, c'est un réel défi de proposer un système qui puisse être utilisé pour évaluer de possibles mesures pour diminuer les pics de demandes.

Ces dernières années, nous avons développé la plate-forme SMACH [5, 1]. L'idée de cet outil est de permettre aux experts du domaine de simuler l'activité quotidienne des foyers. En particulier, comment l'organisation des activités est adaptée à de nouvelles contraintes (prix de l'électricité, nouveaux systèmes techniques, événements inattendus, etc). Nous nous intéressons aujourd'hui à l'ajout dans la plate-forme de dynamiques micro/macro pour l'étude de

1. <http://www.youtube.com/watch?v=DViBg3-crXM>

l'activité humaine à large échelle, par exemples les liens entre individus et groupes sociaux, entre la consommation d'un appareil et la consommation d'un secteur résidentiel. Dans ces travaux, 3 aspects du problème sont considérées : la temporalité de l'activité humaine (de l'action aux habitudes), la diversité des populations (des individus aux groupes sociaux) et la complexité de l'environnement (d'un appareil électrique à une zone résidentielle).

Dans la section suivante, nous présentons les travaux qui se sont intéressés à la modélisation multi-niveau et à la simulation de l'activité humaine. La section 3 introduit SIMLAB, notre modèle multi-niveau à base d'agents, qui s'appuie entre autres sur un mécanisme d'influence inter-niveau et sur la capacité de réification dynamique d'agents. La section 4 montre comment sont représentés les trois dimensions considérées dans ce modèle pour la simulation de l'activité des foyers et de la consommation énergétique. Enfin, la section 5 propose des éléments d'évaluation des mécanismes des influences et de réification dynamique.

2 Travaux connexes

Les recherches en intelligence artificielle autour des questions énergétiques peuvent être groupées en 4 catégories principales. Premièrement, les smart-grids cherchent à optimiser la production et la distribution au niveau du réseau [9]. Deuxièmement, d'autres travaux se concentrent sur la spécification de bâtiment basse consommation et de gestionnaire énergétique intelligent [4]. Troisièmement, beaucoup de travaux, spécialement en systèmes multi-agents, se concentrent sur la prédiction de la demande en électricité [7, 8]. Enfin, quelques-uns proposent de fournir aux clients des feed-backs en temps réel pour qu'ils puissent mieux gérer leur consommation [14]. En fait, peu de travaux se concentrent sur l'étude de l'activité humaine pour mieux comprendre le phénomène macroscopique de la consommation.

L'étude des phénomènes macro en SMA peut se faire à l'aide de modélisations multi-niveaux [11] mais la plupart des modèles ne considèrent pas la coexistence des niveaux pendant la simulation. Par exemple, dans le modèle multi-niveau hiérarchique SWARM [10], les niveaux macro prennent le contrôle des niveaux micro. Dans d'autres modèles, les entités macro sont uniquement des agrégations utilisées pour accélérer les simulations et les niveaux micro sont alors désactivés, comme par exemple dans [13] où les agents sont agrégés sous forme d'équations dans le contexte de la simulation de foule, ou dans [12] qui propose un modèle à plusieurs niveaux de détail pour des simulations urbaines à grande échelle. Dans ces approches, le système sélectionne automatiquement, pour chaque agent, le niveau de représentation approprié pour permettre un gain significatif en calcul. Un seul niveau est activé à la fois et les différents niveaux ne coexistent pas vraiment.

Au contraire, certains modèles ne sont pas conçus pour diminuer les coûts en calcul mais pour faciliter les études. Par exemple, le modèle RIVAGE présenté dans [15] consi-

dère l'eau comme un ensemble multi-niveau d'agents pour modéliser l'écoulement, l'érosion et l'infiltration sur des sols hétérogènes. Un autre exemple avec [16] où les auteurs simulent l'écoulement des fluides en utilisant un modèle de vortex et de vortex macroscopiques. Ces exemples sont malheureusement des modèles spécifiques et ne peuvent être réutilisés dans un contexte différent.

Dans nos travaux, nous partageons cette idée qu'une approche plus systémique (dans le sens de la co-existence des niveaux) peut enrichir notre modèle en l'étendant avec des entités macro, ce que ne permettent pas les approches reposant sur l'utilisation d'agrégations avec un comportements moyen. Nous cherchons à montrer que l'introduction directe dans le modèle de niveaux qui coexistent pendant la simulation, non pas comme différentes visualisations d'un même phénomène mais pour connecter les connaissances expertes au sein d'un même modèle pour l'améliorer, nous permettra d'étudier les phénomènes de grande échelle.

3 Le modèle multi-niveau

Le modèle SIMLAB² [6] repose sur les concepts suivants. Premièrement, les caractéristiques des entités modélisées sont partagées par des agents de différents niveaux. Pour ce faire, nous introduisons la notion d'*axe de modélisation* qui capture la représentation de composantes transverses aux différents niveaux. Deuxièmement, nous faisons la distinction entre les *interactions* des agents (*i.e.* l'échange d'informations ou requêtes) et les *influences* intra-axes des propriétés, capturant les dynamiques multi-niveaux. Enfin, pour avoir une organisation dynamique dans le SMA, nous proposons l'utilisation d'*observations* pour détecter et réifier les macro-entités qui ont du sens pour le modélisateur.

3.1 Caractéristiques des agents

Tous les agents disposent des éléments suivants :

Super et sous-agents. Ces notions sont rattachées au multi-niveau. Un agent a accès uniquement à ses super-agents et sous-agents directs. Nous supposons que la relation inter-niveau est non-transitive et acyclique, mais aucune autre restriction n'est spécifiée dans notre modèle. En particulier, un agent peut avoir plusieurs super-agents.

Propriétés. Les variables manipulées par les agents sont appelées *propriétés*. Elles capturent les notions caractéristiques de l'entité modélisée. Une propriété peut être atomique (réel, booléen, ...) ou plus complexe (liste, ensemble, fonction, ou même un autre agent).

Actions. Chaque agent possède un ensemble d'actions internes pour modifier ses propriétés. On associe une pré-condition à chaque action et, à chaque pas d'exécution, un agent réalise toutes les actions dont les pré-conditions sont satisfaites.

Interactions. Le mécanisme d'interaction des agents est une version simplifiée du modèle de communication intentionnelle proposé par FIPA [3]. Chaque agent est muni

2. SIMLAB Is Multi-Level Agent Based

d'un ensemble de réactions, *i.e.* des actions déclenchées uniquement par des interactions. Comme les actions, les réactions agissent sur les propriétés et sont associées à des pré-conditions.

3.2 Axes de modélisation

Un axe de modélisation permet de représenter la consistance entre les super et sous-agents. Il consiste en un ensemble d'agents qui correspondent à un même concept. En d'autres termes, il regroupe tous les niveaux d'abstraction d'un même aspect du phénomène étudié. Par exemple, les appareils électriques, le bâtiment et le groupement résidentiel sont les éléments d'un même axe figurant l'environnement de la consommation énergétique.

Dans notre modèle, un axe de modélisation est aussi caractérisé par un ensemble de propriétés partagées. Ces propriétés particulières facilitent la tâche de modélisation en encourageant la réflexion autour de ce qui est commun à tous les niveaux. Par exemple, la consommation énergétique est une propriété partagée de l'axe regroupant les appareils et les bâtiments. Comme les propriétés partagées sont définies pour l'axe, il n'y a pas besoin de définir ces propriétés pour chaque agent.

Influences. Les niveaux sont liés par une fonction d'influence modifiant la valeur d'une propriété des super ou sous-agents, en se basant sur certaines propriétés de l'agent influant. Ces influences sont définies au niveau des propriétés des agents, non aux instances de ces propriétés. Par exemple, si une propriété d'un individu influence un groupe, tous les individus de ce groupe bénéficient de cette influence.

Propriétés récursives. Une propriété récursive est une propriété définie pour tous les agents d'un axe (*N.B.* les propriétés récursives sont donc des propriétés partagées) et qui est influencée par les valeurs des propriétés sources des agents de plus bas niveau. L'influence d'une propriété récursive est toujours orientée du sous-agent vers le super-agent. Un changement de valeur sur une propriété récursive se propage sous la forme d'une fonction récursive dont le calcul se fait de l'agent vers les sous-agents.

3.3 Observations et transformations

Pour détecter et réifier des entités macro, chaque agent peut être associé à une ou plusieurs observations. Une observation est caractérisée par un ensemble d'agents mesurés. Chaque mesure est comparée à un seuil d'activation pour déclencher une transformation modifiant l'organisation du système. Une transformation est caractérisée par un ensemble de modifications sur la structure du SMA. Les agents disposent des 5 transformations suivantes :

- (1) **Create** Un nouvel agent x est ajouté dans le système.
- (2) **Join** Un agent y est ajouté à l'ensemble des super-agents de x et x est ajouté à l'ensemble des sous-agents de y .
- (3) **Merge** Deux agents x et y se rassemblent pour former un nouveau super-agent z (*Create* puis $2 \times$ *Join*).

- (4) **Leave** L'agent y est enlevé de l'ensemble des super-agents de x et l'agent x est enlevé de l'ensemble des sous-agents de y .
- (5) **Delete** L'agent x est supprimé du système.

Nous avons choisi ces 5 transformations mais d'autres peuvent être spécifiées en fonction du domaine applicatif.

4 Simuler l'activité humaine

La plate-forme SMACH permet aux experts de l'énergie de décrire, simuler et étudier l'activité des foyers en rapport avec leur consommation énergétique. Le modèle est basé sur 3 concepts : les populations, l'activité humaine et l'environnement de consommation.

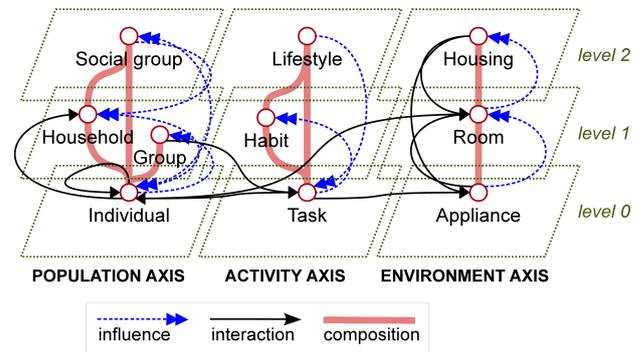


FIGURE 1 – Vue d'ensemble des 3 axes

En appliquant le modèle présenté précédemment, nous définissons respectivement 3 axes de modélisation (voir Fig. 1) présentés ci-après.

4.1 Axe des populations

Cet axe regroupe toutes les populations sur différents niveaux. Un agent appartenant à l'axe des populations peut réaliser des activités et dispose de préférences pour celles-ci, ainsi que d'une activité courante. Cet axe est aussi caractérisé par une fonction de priorité des activités de l'agent. Cette fonction de priorité joue un rôle clé dans la sélection des activités. Il s'agit ici d'une propriété récursive dont la valeur est influencé par la priorité des sous-agents.

Individu. Les individus correspondent aux éléments les plus microscopiques de l'axe. Ils représentent les membres d'un foyer et sont caractérisés par un âge, un genre et un niveau de frilosité. La frilosité modifie le niveau de confort thermique ressenti par les individus (basé sur le modèle de Fanger [17]). Les individus interagissent avec leur pièce courante pour mettre à jour leur confort. Ils interagissent aussi avec les activités pour les réaliser. Pour se coordonner dans leurs activités, les agents utilisent le mécanisme d'interaction en s'appuyant sur un ensemble *ad-hoc* d'actes de langage (*e.g.* demander à un autre ce qu'il fait, encourager quelqu'un à réaliser une activité, ...).

Groupe. Un groupe est un agent composé de plusieurs individus. On considère un groupe comme un agent éphé-

mère du système car ces groupes se font et se défont fréquemment. Il peut s'agir d'un groupe qui passe une soirée ensemble ou d'une mère qui aide son enfant à faire ses devoirs. Un groupe n'a pas d'autre propriété que celles de son axe, il a pour principale caractéristique que ses membres agissent fréquemment ensemble, les membres d'un groupe éphémère peuvent ne pas réaliser la même activité. Comme les individus, les groupes peuvent réaliser des tâches (tâches collectives).

Foyer. Tous les individus appartiennent à un foyer, même s'ils en sont l'unique membre. Chaque foyer est caractérisé par un logement avec lequel il interagit et par un revenu moyen qui influence la priorité des individus en les mettant en relation avec les logiques d'action de leur groupe social (super-agent).

Groupe social. Un groupe social est composé de foyers et d'individus. Il est caractérisé par un ensemble de logiques d'action qui agissent comme un prisme de décision pour les sous-agents. Dans nos travaux, nous considérons quatre logiques d'action : l'importance du confort, la recherche d'économie, l'éco-responsabilité et la gestion rationnelle du logement. Les logiques d'actions influencent la priorité des sous-agents.

4.2 Axe des activités

Une activité est munie d'un ensemble d'activités pré-conditions (*e.g.* laver le linge est pré-condition de repasser) et d'un environnement éventuellement nécessaire (*e.g.* repasser nécessite un fer à repasser). Une activité est aussi caractérisée par un état d'activation (non réalisée, réalisée, en cours). Une activité est irréalisable tant que toutes ses pré-conditions ne sont pas satisfaites (appareil indisponible, activité pré-condition non réalisée). Lorsqu'une activité est déclenchée, les éléments de l'environnement qui lui sont associés sont activés.

Tâche. Une tâche correspond à l'élément atomique de l'activité humaine. Elle peut être réalisée individuellement ou collectivement (par un groupe). Certaines tâches ont un impact sur le niveau de confort thermique des individus. 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 étape de la simulation à une probabilité de réalisation. Ce rythme influence celui des habitudes.

Habitude. Une habitude est un ensemble de tâches. Elle modélise des motifs qui se répètent dans l'activité humaine (*e.g.* la routine du soir en semaine). Une habitude est caractérisée par le rythme moyen de ses sous-agents.

Style de vie. Un style de vie est composé de tâches et d'habitudes. Certaines tâches sont spécifiques à un style de vie. Un style de vie est caractérisé par un ensemble de pratiques qui influencent la durée des tâches (*e.g.* passer beaucoup de temps à préparer les repas) et la fréquence des rythmes (*e.g.* faire plus souvent des activités de loisir).

4.3 Axe de l'environnement

Cet axe représente les entités liées à la consommation énergétique. Un agent appartenant à cet axe est caractérisé par une puissance électrique, une fonction de consommation et un état d'activation (off, standby ou on). La fonction de consommation est une propriété réursive.

Appareil. Les appareils électriques sont les éléments microscopiques de l'axe. Certains appareils disposent de profils de consommation provenant de la base de données REMODECE³. Les appareils peuvent avoir une puissance en veille (comme la télévision, l'ordinateur, ...) et un thermostat (chauffage). Les chauffages peuvent interagir avec leur pièce pour obtenir la température courante. Tous les appareils influencent la température de la pièce avec leur propriété de chaleur dégagée, caractéristique des appareils électriques en fonctionnement.

Pièce. Une pièce est composée d'appareils et est caractérisée par un nombre d'individus présents dans la pièce, une température courante (mise à jour par un modèle thermique) et une température de consigne.

Logement. Un logement est composé de pièces. Il est caractérisé par un indicateur de présence qui perçoit si au moins un individu est présent dans le logement. Le logement peut, s'il bénéficie par exemple d'un gestionnaire d'énergie, interagir avec les pièces pour changer leurs températures de consigne.

5 Expérimentations

Cette section décrit deux expérimentations que nous avons réalisées pour valider les éléments caractéristiques de notre modèle dans le contexte de la simulation de la consommation énergétique de foyers. Notre première étude se concentre sur la fonction d'influence reliant un groupe social et les individus, et son effet sur la consommation. Notre seconde étude illustre le rôle des observations dans le processus organisationnel.

5.1 Implémentation

Nous avons réalisé en Java une implémentation du modèle SIMLAB et un prototype de simulateur de l'activité humaine reprenant les axes et les agents présentés dans la section précédente. Dans cette version simplifiée, la fonction de décision pour les individus n'utilise pas le modèle de décision de SMACH, mais une version simplifiée. Pour nos expérimentations, nous avons généré aléatoirement 50 foyers avec deux adultes et entre un et trois enfants (suivant une distribution linéaire). Tous les individus ont un ensemble de tâches communes qu'ils peuvent réaliser comme manger, dormir, regarder la TV, *etc.* Les adultes vont travailler et ont des tâches ménagères (préparer le repas, laver le linge). Les enfants vont à l'école, jouent et font leurs devoirs. Chaque foyer dispose du même ensemble d'appareils électriques (*e.g.* TV, aspirateur, four, ...). Les préfé-

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

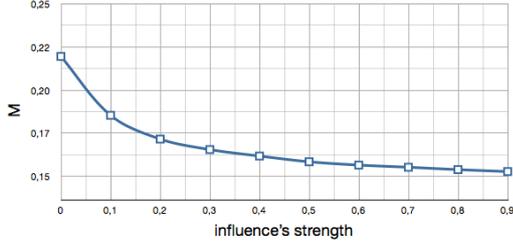


FIGURE 2 – Evolution de \mathcal{M}

rences pour les tâches sont choisies aléatoirement, suivant une distribution linéaire. Ce modèle de population n’est évidemment pas réaliste mais suffit pour nos besoins expérimentaux.

5.2 Ajout de groupes sociaux dans le SMA

Nous voulons étudier l’impact sur la consommation, via les actions individuelles, des motivations économiques et écologiques des logiques d’actions, définies au niveau du groupe social. Dans cette évaluation préliminaire, nous ne considérons qu’une seule logique d’action possible : la logique d’économie (qui pousse les individus à moins utiliser les appareils très énergivores). Pour cela, nous considérons que chaque foyer a un revenu moyen r_m , obtenu aléatoirement suivant une courbe gaussienne entre 800 et 10 000 €/mois, et nous définissons un groupe social de foyers à faible revenu noté G_{eco} (avec arbitrairement $r_m < 960$ €/mois). Ce groupe est alors caractérisé par une fonction d’influence sur la priorité des tâches des individus qui le compose, de manière à réduire la priorité des tâches nécessitant un appareil très consommateur (la liste des appareils consommateurs, comme le four ou la machine à laver, a été définie arbitrairement pour les besoins de notre étude).

La priorité de ces tâches consommatrices est réduite par un facteur f que l’on nomme force de l’influence. Notre objectif est alors d’étudier l’impact de cette force sur la réduction de la consommation. Nous mesurons pour une semaine simulée le ratio \mathcal{M} entre la consommation du groupe social étudié G_{eco} et la consommation totale.

Il faut noter que l’influence du groupe social change les priorités des individus dans l’axe des populations, la priorité entraîne le déclenchement des activités dans l’axe des activités et la consommation correspond à une propriété de l’axe de l’environnement. Ainsi, les conséquences de cette influence émergent pendant la simulation et traversent les 3 axes de modélisation introduit dans notre modèle. Les conséquences sur la consommation sont difficiles à prédire, même pour les experts du domaine. En effet, les priorités des individus dépendent des rythmes et des priorités des tâches pré-conditionnelles. De plus, les appareils peuvent être utilisés par les tâches des autres individus.

Résultats. Comme le montre la figure 2, l’influence du groupe social a un impact sur la consommation globale, et en particulier sur la part de cette consommation qui pro-

<i>préparer repas - utiliser ordinateur</i>
<i>préparer repas - utiliser ordinateur - regarder TV - manger</i>
<i>utiliser ordinateur - regarder TV</i>
<i>faire devoirs - manger - regarder TV</i>

TABLE 1 – Exemples d’habitudes réifiées

vient des foyers à faible revenu.

Dans notre étude, seulement 20% des foyers sont en dessous du seuil de revenu et appartiennent donc à G_{eco} , ce qui explique la faible valeur de \mathcal{M} . Nous remarquons que la mesure décroît en fonction de la force de l’influence et tend à converger car elle est en fait limitée par les tâches utilisant des appareils à faible consommation qui ne sont pas affectés par l’influence.

5.3 Extraction de motifs d’activités

La seconde expérimentation illustre l’utilisation des observations dans le modèle SIMLAB pour faire ressortir des motifs d’activités, donc des habitudes, à partir des activités micro. Il s’agit surtout de montrer que le modèle a la capacité de rendre visible pour l’expert des entités de niveau macro.

Pour cela, nous ajoutons une observation aux tâches des individus pour détecter et réifier les motifs d’activité qui émergent pendant la simulation. Cette observation est caractérisée par \mathcal{O} , la fonction de mesure correspondant à la probabilité de transition entre les tâches, *i.e.* la probabilité pour un individu d’abandonner la tâche courante pour en commencer une autre :

$$\mathcal{O}^a(b \in T) = \frac{n_{a,b}}{\sum_{x \in T} n_{a,x}}$$

avec T l’ensemble des tâches observées par la tâche a et $n_{i,j} \in \mathbb{N}$ le nombre de transitions de i à j . À chaque étape, l’observation vérifie ses mesures. Lorsqu’elles dépassent un certain seuil (fixé arbitrairement à 0,6 dans notre étude), une transformation est déclenchée (*merge* ou *join* selon l’existence de l’agent macro correspondant). Nous définissons le super-agent ainsi créé comme une *Habitude*.

Quelques exemples d’habitudes réifiées pendant l’expérience sont présentés dans la table 1. Ces habitudes font sens dans le contexte de l’étude de la consommation énergétique. Par exemple, le groupe [*utiliser ordinateur - regarder TV*] correspond à des activités de loisirs. Le but n’est pas seulement de les mettre en relation avec la consommation (quel est l’impact des activités de loisirs sur la consommation au niveau des individus, logements et groupes sociaux). Mais l’identification de ces groupes permet aussi au modélisateur de détecter de trop grandes régularités dans les comportements (pouvant correspondre à des erreurs de modélisation, ou simplement des paramètres qui n’étaient pas correctement fixés). Ainsi, le niveau macro permet de valider la modélisation faite au niveau micro, et surtout de comprendre les sources des incohérences dans les comportements.

6 Conclusion

Nous avons présenté le modèle multi-niveau SIMLAB, basé sur l'utilisation d'interactions et d'influences pour capturer les dynamiques inter-niveaux. L'intérêt principal de notre approche est la définition d'axes de modélisation pour l'analyse des systèmes complexes, faisant ressortir des propriétés partagées. De plus, les agents peuvent modifier l'organisation du SMA avec leurs observations pour détecter et réifier les entités macro. Nous avons appliqué ce modèle à une représentation en 3 axes de l'activité humaine dans le contexte de la consommation énergétique résidentielle. Nous avons présenté deux expérimentations qui offrent des éléments de validation des influences inter-niveaux et de la capacité de réification dynamique d'entités macro. Nous avons illustré comment ces deux mécanismes peuvent fournir aux experts de nouveaux outils pour l'étude d'un système complexe.

Nous travaillons actuellement à l'intégration de ce modèle dans la plate-forme SMACH [1], ce qui nous permettra de bénéficier du modèle décisionnel, validé expérimentalement, d'un modèle de thermique du bâtiment et de confort thermique pour les occupants, d'un modèle de consommation des appareils issu de mesures réelles et enfin d'un modèle de génération de population réaliste, basé sur des données statistiques et socio-économiques INSEE et EUROSTAT. Nous pensons que notre approche multi-niveau sera en mesure de reproduire des phénomènes micro et macro intéressants pour les experts énergéticiens, nous permettant d'envisager des mesures possibles pour diminuer les pics de demande en électricité.

Au delà de ces résultats applicatifs, notre première perspective de recherche est d'explorer les principes sous-jacents des axes de modélisation comme méthodologie systémique pour les simulations multi-niveaux de l'activité humaine. Il serait aussi intéressant d'étudier plus en détail la caractérisation des phénomènes émergents pour affiner la manière dont sont conçus nos observations, améliorant leur capacité à détecter et réifier des entités macro intéressantes.

Références

- [1] E. Amouroux, T. Huraux, F. Sempe, N. Sabouret, and Y. Haradji. Simulating Human Activities to Investigate Household Energy Consumption. In *Proc. of the 5th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART)*, 2013.
- [2] R. Conte, B. Edmonds, S. Moss, and R. K. Sawyer. Sociology and social theory in agent based social simulation : A symposium. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 7(3) :183–205, 2001.
- [3] FIPA consortium. FIPA Communicative Act Library Specification and FIPA ACL Message Structure Specification. Technical report, Foundation for intelligent physical agents, 2003.
- [4] R. Z. Freire, G. H. Oliveira, and N. Mendes. Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings. *Energy and Buildings*, 40(7) :1353 – 1365, 2008.
- [5] Y. Haradji, G. Poizat, and F. Sempé. L'activité humaine et la conception d'une plate-forme de simulation sociale. *Congrès de la SELF (Société d'Ergonomie de Langue française)*, page 41, 2012.
- [6] T. Huraux, N. Sabouret, and Y. Haradji. A Multi-Level Model for Multi-Agent Based Simulation. In *Proc. of the 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART)*, Angers, France, 2014.
- [7] A. Kashif, X. H. B. Le, J. Dugdale, and S. Ploix. Agent based framework to simulate inhabitants' behaviour in domestic settings for energy management. In *ICAART'11*, pages 190–199, 2011.
- [8] A. Mahdavi and C. Pröglhöf. Toward empirically-based models of people's presence and actions in buildings. In *Proceedings of Building Simulation 09*, pages 537–544, 2009.
- [9] A. S. Massoud and B. Wollenberg. Toward a smart grid : power delivery for the 21st century. *Power and Energy Magazine, IEEE*, 3(5) :34–41, 2005.
- [10] N. Minar, R. Burkhart, C. Langton, and M. Askenazi. The swarm simulation system : a toolkit for building multi-agent simulations. *GEMAS Studies in Social Analysis*, Working Paper 96-06-042, 1996.
- [11] G. Morvan. Multi-level agent-based modeling-bibliography. Technical report, LGI2A, Univ. Artois, France, 2012.
- [12] L. Navarro, F. Flacher, and V. Corruble. Dynamic level of detail for large scale agent-based urban simulations. *Proc. of 10th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2011)*, pages 701–708, 2011.
- [13] T. N. A. Nguyen, J.-D. Zucker, N. H. Du, A. Drogoul, and D.-A. Vo. An hybrid equation-based and agent-based modeling of crowd evacuation on road network. *International Conference on Complex Systems*, 2011.
- [14] A. Rogers, S. Maleki, S. Ghosh, and J. Nicholas R. Adaptive home heating control through gaussian process prediction and mathematical programming. In *ATES 2011*, pages 71–78, May 2011.
- [15] D. Servat, E. Perrier, J.-P. Treuil, and A. Drogoul. When agents emerge from agents : Introducing multi-scale viewpoints in multi-agent simulations. *LNCS*, 1534 :183–198, 1998.
- [16] P. Tranouez. *Contribution à la modélisation et à la prise en compte informatique de niveaux de description multiples*. PhD thesis, Université du Havre, 2005.
- [17] J. van Hoof. Forty years of Fanger's model of thermal comfort : comfort for all ? *Indoor Air*, 18(3) :182–201, 2008.