SMACH : Simuler l'activité humaine pour limiter les pics de consommation électrique

Édouard Amouroux, Thomas Huraux, François Sempé, Nicolas Sabouret, Yvon Haradji

▶ **To cite this version:**

Édouard Amouroux, Thomas Huraux, François Sempé, Nicolas Sabouret, Yvon Haradji. SMACH : Simuler l'activité humaine pour limiter les pics de consommation électrique. Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA 2013), Jan 2013, Lille, France. hal-01852266

HAL Id: hal-01852266
https://hal.science/hal-01852266

Submitted on 1 Aug 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SMACH : Simuler l'activité humaine pour limiter les pics de consommation électrique

E. Amouroux[a] edamouroux@gmail.com
T. Huraux[a,b] thomas.huraux@edf.fr
F. Sempé[d] sempe.francois@gmail.com
N. Sabouret[c] nicolas.sabouret@limsi.fr
Y. Haradji[b] yvon.haradji@edf.fr

[a]Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Université Pierre & Marie Curie, France

[b]EDF R&D, Département ICAME, Clamart, France

[c]LIMSI-CNRS / Supelec, Orsay, France

[d]F. Sempé AE, Paris, France

Résumé

Dans cet article, nous proposons un modèle de simulation du comportement humain pour une gestion efficace de la consommation énergétique dans le contexte résidentiel. Nous présentons la plateforme de simulation associée : SMACH. Elle permet aux experts de représenter les activités des habitants au sein de leur foyer et en particulier leur capacité d'adaptation dynamique. Nous décrivons la dynamique du système et nous illustrons sur un exemple complet l'émergence d'habitudes et l'adaptation à des événements extérieurs.

Mots-clés : *modèle à base d'agents, comportements humains, consommation électrique*

Abstract

This paper presents a multi-agent simulation model of human behaviours for efficient energy management in a residential context. We first describe the agent-based modelling and simulation framework which allows experts to describe and study the inhabitants behaviour and to observe dynamic re-organisation of the activities. We describe the system's dynamics and we illustrate on an example the emergence of habits and the adaptation to external events, such as new electricity tariff or change of the household organisation.

Keywords: *Agent-based model, human behaviour, electrical consumption*

1 Introduction

La gestion efficace de l'énergie, défi majeur dans le contexte de l'écologie et du marché énergétique, passe aujourd'hui par deux approches. D'une part, le transport et la répartition de la charge qui ont été largement étudiés ces dernières années et auquel le concept de *smart grid* semble une réponse prometteuse [6]. D'autre part, la réduction des pics de consommation face auquel les fournisseurs d'électricité n'ont en général comme réponse que le sur-dimensionnement de leurs capacités de productions. Cependant, deux observations peuvent être faites. Premièrement, le secteur résidentiel représente 27% de l'énergie consommée en Europe [2]. Il semble donc intéressant d'essayer d'agir à ce niveau pour mieux gérer l'énergie et en particulier les pics de consommation. Deuxièmement, des études ont montré qu'il est possible d'agir au niveau des foyers en les incitant à mieux maîtriser leur consommation [10], par exemple à travers des campagnes de sensibilisation ou l'utilisation de compteurs intelligents avec affichage de consommation en temps réel [8]. Toutefois, ces études demandent du temps, beaucoup de moyens et ne permettent pas de comparer différentes approches. Au contraire les simulations multi-agents, intégrant une représentation explicite des comportements individuels, permettent de mener des études semblables avec bien moins de moyens

Bien que certains modèles à base d'agents aient été proposés pour étudier le marché de l'électricité [12] (en se concentrant sur les interactions entre fournisseurs et consommateurs), peu de travaux ont été menés sur la représentation de l'activité humaine dans les foyers. Dans [5], les auteurs proposent de représenter explicitement le comportement des habitants à travers un processus de décision réactif et délibératif, fondé sur l'architecture d'agents délibératifs Brahms [9]. Celle-ci est très proche de l'architecture BDI et nécessite des définitions précises

de cadre de pensée et de travail. Néanmoins, nous pensons qu'une représentation complexe du processus de décision n'est pas nécessaire [4] pour obtenir un modèle capable de répondre à notre objectif : étudier l'adaptation des activités des foyers face à diverses mesures d'incitation et des événements. C'est dans cet objectif que la plateforme de modélisation et de simulation SMACH a été proposée [1]. L'idée est la suivante : permettre aux experts du domaine d'expérimenter sur les activités quotidiennes des foyers en relation avec leur consommation électrique et en particulier comment l'organisation (des activités) du foyer est adaptée à de nouvelles contraintes (prix de l'électricité, événements imprévus, etc.).

Dans cet article, nous présentons tout d'abord le méta-modèle proposé par SMACH avant de décrire la dynamique du simulateur. Nous examinons ensuite deux mécanismes d'adaptation présents dans SMACH qui permettent au foyer représenté de s'adapter aux contraintes de tarif électrique variable, aux événements ponctuels et aux changements d'organisation du foyer. Nous illustrons ce mécanisme sur un exemple complet de simulation.

2 Méta-modèle de l'activité humaine

SMACH repose sur deux propriétés fondamentales : (1) décrire simplement le comportement humain dans le contexte de la consommation électrique des foyers et (2) proposer des mécanismes réalistes d'auto-adaptation (lors de la simulation) de l'activité du foyer. Afin de satisfaire ces deux propriétés tout en maintenant une accessibilité aux experts du domaine, nous avons choisi de centrer la description de l'activité humaine autour de la notion de tâche.

Ces tâches peuvent nécessiter des appareils ménagers, qui sont définis dans un environnement.

2.1 Environnement

Le logement est composé d'un ensemble de *pièces* dans lesquelles sont localisés des appareils. Soit $\mathcal{R}$ l'ensemble des pièces et $\mathcal{E}$ celui des appareils. Pour chaque pièce r ($r \in R$), on note $E_r \subset \mathcal{E}$ l'ensemble des appareils de cette pièce.

Chaque appareil électrique $e \in E$ est caractérisé par une consommation électrique θ_i. On note $power : \mathcal{E} \rightarrow \mathbb{R}^+$ la fonction de calcul de consommation électrique d'un appareil. Nous considérons deux types d'appareils électriques.

Les *appareils à état* sont définis par le tuple $\langle \theta_o, \theta_s, st \rangle$ avec θ_o et θ_s les consommations électriques quand e est en fonctionnement ou en veille, et $st \in \{\text{off}, \text{standby}, \text{on}\}$ l'état de l'appareil, (contrôler par un *individu* au cours de ces activités). Les éclairages, TVs, ordinateurs, ... sont représentés par ce type d'appareil.

Les *appareils à programme* sont définis par le tuple $\langle P_e, st \rangle$ avec P_e un ensemble de programmes. Chaque programme p est un couple (τ_p, ϕ_p) avec τ_p la durée du programme et $\phi_p : [0, \tau_p] \rightarrow \mathbb{R}^+$ la fonction définissant la consommation à chaque instant du programme. L'état st de l'appareil est défini par le couple (p_c, t_c) avec p_c le programme courant et t_c la durée écoulée depuis le début de ce programme (avec $power(e) = \phi_{p_c}(t_c)$). Les fours, machines à laver, etc., sont représentés par ce type d'appareil. Tous les profils de consommation du simulateur proviennent du projet REMODECE [1] qui a caractérisé la consommation des appareils en situation réelle.

2.2 Les membres du foyer et leurs comportements

Nous considérons le foyer comme un ensemble d'individus fixé pour le scénario. Chaque membre du foyer est représenté par un agent *individu*, $i \in \mathcal{I}$. Celui-ci est caractérisé par l'ensemble des *actions* A_i qu'il peut effectuer et son niveau de responsabilité res_i. Ce dernier permet de distinguer les *enfants*, des *adolescents* et des *adultes*.

Lors de la simulation, la pièce dans laquelle l'individu est localisé ($room(i) \in \mathcal{R}$), son action courante ($action(i) \in A_i$), ses croyances (B_i), et ses communications (C_i) sont valuées pour définir complètement un individu.

Une *tâche* $t \in \mathcal{T}$ représente une activité générique du foyer, à partir de laquelle les actions des individus sont dérivées. Une tâche est un tuple $\langle \tau_{min}, \tau_{max}, bene, visi, coll, E_t, T_{pre} \rangle$ avec :
- τ_{min}, τ_{max} durées minimale et maximale d'exécution ;
- $bene \in \{alone, collective\}$ définit si la tâche va profiter à l'individu ou à tout le foyer ;
- $visi \in \{none, individual, room, house\}$ visibilité (par les autres individus) de la tâche ;

1. http ://remodece.isr.uc.pt

– $coll \in \{none, allowed, mandatory\}$ la tâche doit/peut être réalisée à plusieurs ou seul ;
– $E_t = \{\langle e, p\rangle\} \mid e \in E \,\&\, p \in \{e.Pe\}$ éventuels appareils utilisés lors de la réalisation de la tâche et programmes associés ;
– $T_{pre} \subset \mathcal{T}$ tâches en pré-condition. Un individu ne peut réaliser une tâche que si toutes les tâches en pré-condition ont été réalisées (par lui-même ou un autre suivant la valeur de $bene$) ;

Une *action* $a \in \mathcal{A}$ représente l'instanciation d'une tâche pour un individu donné. Elle est définie par le tuple $a = \langle t, w, R_a, st\rangle$ avec t la tâche associée, w son rythme, R_a l'ensemble des pièces où l'action peut être réalisée et $st \in \{undone, done\}$ son état de réalisation.

Afin de pouvoir exprimer les habitudes, le concept de *rythme* a été introduit dans le méta-modèle. Un rythme w $(w \in W)$ permet de définir, pour chaque action, une fréquence et un ensemble de périodes préférentielles. Une période préférentielle (PP) est composée d'une plage horaire et d'une périodicité (mensuelle, hebdomadaire, etc.) durant laquelle l'individu sera plus enclin à réaliser l'action associée. Un rythme est définie par le tuple $\langle per_w, freq_w, var_w, Pp_w\rangle$ avec :
– $per \in \{day, week, month, year\}$ la périodicité ;
– $freq \in \mathbb{N}^+$ la fréquence ;
– $var \in \{weak, medium, strong\}$ le niveau de variabilité de la fréquence ;
– PP les périodes préférentielles qui sont définies par un tuple $\langle [d_1, d_2], strength\rangle$ avec d_1 et d_2 date de début et de fin, $strength \in \{weak, medium, imperative\}$ la force de cette période ;

Pour mieux comprendre, prenons l'exemple de la tâche "manger". Nous pourrions vouloir définir un rythme tel que l'action associée d'un individu soit réalisée jusqu'à trois fois par jour, ce qui donnerait le tuple : $w_m = \{day; 3; weak; pp_{1,2,3}\}$ avec $pp_1 = \{[7h; 9h], imperative\}$, $pp_2 = \{[12h; 14h], weak\}$ et $pp_3 = \{[19h, 22h], strong\}$. Dans le cas présent l'individu mangera toujours le matin, rarement le midi et presque tous les soirs.

Les habitudes peuvent être perturbées lors de situations exceptionnelles (*e.g.* vacances, maladie, etc.) que nous nommons événements. Un événement $q \in \mathcal{Q}$ est défini par un couple $([d_{s_q}, d_{e_q}], W_q)$ avec W_q un ensemble de couples (a, w). Concrètement, un événement associe de nouveaux rythmes aux actions de l'individu pendant une période donnée. Par exemple, lors des vacances, le rythme associé à l'action "travail" est inactif.

3 Simulation des activités humaines

A partir de ce méta-modèle, nous simulons l'activité humaine grâce au simulateur SMACH. Dans celui-ci, chaque individu du modèle est représenté par un agent dont les mécanismes de décision sont présentés dans les deux sous-sections suivantes. L'adaptation du comportement de l'agent au court du temps, du fait de l'activité humaine, est présentée dans la section 4.

3.1 Croyance et communication

Dans SMACH, les agents sont synchrones et sélectionnent, à chaque pas de temps, l'action à exécuter en se basant sur leurs croyances (et leur état interne). Dans cette sous-section, nous présentons le modèle de croyance et celui de communication des agents pour ensuite présenter la dynamique des agents dans la sous-section suivante.

Une croyance b d'un individu i est un tuple $b = \langle d, a, s\rangle$ avec d sa date de création, $a \in \mathcal{A}_\rangle$ une action et $s \in \{\text{undone}, \text{running}, \text{done}\}$ l'état perçu de celle-ci. $\langle d, a, s\rangle \in B_i$ veut donc dire qu'au temps d, l'individu i à l'information que l'action a est dans l'état s. Cette croyance est conservée dans la base de croyances de i tant qu'aucune autre perception ou déduction ne la contredit. Dans l'état initial, $s = undone$ pour toutes les actions. D'autre part, nous considérons que les individus connaissent l'ensemble des actions que chaque agent peut réaliser, pour pouvoir envoyer les messages d'invitation ou de de mande d'aide.

En plus de la réalisation de ses actions individuelles, 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 [3].

Une conversation $c \in C_i$ est un ensemble ordonné de n messages, $msg_1, ..., msg_n$, avec $msg_i = \langle d, to, from, perf, c\rangle$ et d la date du message, to et $from$ émetteur et destinataire, $perf$ le performatif et c le contenu. 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*. Le

contenu d'un message, si besoin, est toujours une tâche unique $t \in \mathcal{T}$. Les agents ont donc besoin de connaître a priori la liste des tâches et des agents qui peuvent les effectuer. Tous les agents peuvent communiquer avec l'ensemble des agents du logement (sans autre considération de localisation).

3.2 Dynamique des agents

Cette section présente comment les agents maintiennent leurs bases de croyances. Ensuite, nous présentons comment un agent individu sélectionne l'action à effectuer en fonction de ses croyances mais aussi de ses préférences et de ses communications.

Mise à jour des croyances. L'ajout (ou le retrait) d'une croyance à la base B_i de l'agent est fonction de ses perceptions directes, ses communications mais aussi du fait d'un système de maintien de la cohérence sur l'état des actions et de la localisation des autres individus. Tout d'abord nous définissons les éléments suivants : d_0 la date courante et notons $+_i b$ et $-_i b$ l'ajout et le retrait d'une croyance b dans B_i et $visi(a)$ la zone de visibilité de l'action a. La base de croyances B_i de l'agent i est mise à jour lorsqu'il entre dans la zone de visibilité d'une action : $\forall a \mid room(i) \in visi(a),\ \nexists \langle d', a, status(a)\rangle \in B_i \Rightarrow +_i \langle d_0, a, status(a)\rangle$

De la même façon, quand un individu reçoit un message avec le performatif *je fais* ou une réponse à un message *As tu fait ?* lors d'une conversation, une nouvelle croyance est ajoutée : $+_i \langle d_0, a, status(a)\rangle$, avec a l'action correspondant à l'émetteur et la tâche du message. De plus, un système de maintien de la cohérence enlève toute croyance pré-existante invalidée du fait des contraintes suivantes :

- Une action ne peut être que dans un état : $+_i \langle d_0, a, status(a)\rangle \Rightarrow \forall d' < d_0, -_i \langle d', a, s' \neq status(a)\rangle$
- Un agent ne peut effectuer qu'une seule action à la fois : $+_i \langle d_0, a, status(a)\rangle \Rightarrow \forall a' | actor(a) = actor(a'), -_i \langle d', a', s'\rangle$ and $+_i \langle d_0, a', done\rangle$;
- Une action ne peut durer plus longtemps que sa durée maximale : si $\exists b \in B_i$ tel que $b.d + b.a.t.\tau_{max} > d_0$, alors $-_i b$ et $+_i \langle d_0, b.a, done\rangle$;
- Deux actions associées avec une tâche "exclusive" ($a_1.t = a_2.t = t$ and $t.coll = none$) ne peuvent être conduite simultanément : $-_i \langle d', a_2, running\rangle$ and $+_i \langle d_0, a_2, done\rangle$

Dynamique des actions. L'état d'une action st ne se réduit pas à son statut de réalisation (*undone* ou *done*), il y a, en réalité, quatre attributs :

- $real_{number} \in \mathbb{N}^+$ est le nombre de réalisations déjà effectuées pour le jour courant. La valeur de $a.st \in \{done, undone\}$ est directement calculée à partir de $a.real_{number} \geq 1$;
- $real_{max} \in \mathbb{N}^+$ est le nombre maximal de réalisation prévu pour le jour courant (qui dépend du rythme w) ;
- $\tau \leq a.t.\tau_{max}$ est le temps écoulé lorsque a est en cours d'exécution ;
- $pr \in [-1; 1]$ niveau de priorité.

La priorité $a.pr$ est réévaluée à chaque pas de temps (voir ci-après) et l'agent exécute l'action ayant la priorité maximale parmi les actions *réalisables*. Une action est réalisable aux conditions suivantes :

- Toutes les tâches en pré-conditions ont été réalisées : $\forall t' \in a.t.T_{pre}, \exists a' \in \mathcal{A} | a'.t = t' \wedge a'.st = done \wedge (actor(a') = actor(a) \vee t'.bene = \textit{i.e.collective})$
- Tous les appareils nécessaires sont disponibles : $\forall e \in a.t.E_t, \nexists a' / a'.running \wedge e \in a'.t'.E_{t'}$

Notons que $a.st$ ne peut être évalué directement par l'agent. Au contraire, il utilise ses croyances pour déterminer si l'action est réalisée ou pas et s'il peut l'exécuter. Cependant, lors du démarrage de l'action, le simulateur va vérifier que les conditions sont effectivement remplies ainsi un agent ne pourra démarrer une action qui n'est pas effectivement réalisable. Dans ce cas, toutes les croyances inconsistantes de l'agent sont éliminées.

Une action, a, en cours de réalisation, peut être interrompue pour 2 raisons : (1) une autre action (réalisable), a', a une priorité supérieure ou (2) a est devenue impossible. Suite à une interruption, l'état de l'action a est modifiée en fonction de sa durée d'exécution :

- Si a a été exécutée pour une durée $\tau \geq \tau_{min}$, son nombre de réalisation $a.real_{number}$ est incrémenté et $a.\tau$ est remis à 0. Le statut de l'action $a.st$ est passé à *done*.
- Si $a.\tau < \tau_{min}$ L'action est mise "en attente" : $a.\tau$ est maintenue à sa valeur courante (et son nombre de réalisation demeure inchangé). Par exemple, si un enfant est interrompue lors de l'action *faire ses devoirs*, il ne perdra pas le bénéfice de les avoir commencés.

Bien que l'état des actions évolue en permanence suivant le comportement de l'individu et

de son environnement. Celui-ci est ré-initialisé tous les jours à minuit . En pratique, $a.st$ est remis à $undone$, $a.real_{number}$, $a.\tau$ et $a.pr$ à 0, et le nombre de réalisation maximal est recalculé en fonction du rythme : si le jour courant contient une période préférentielle, ppi, et s'il reste des réalisations à faire ($w.real < w.real_{max}$).

La priorité (pr_{raw}) d'une action prend en compte l'état interne d'un individu : l'*engagement* (ou *lassitude*) sur l'action courante, l'*influence du rythme* associé (l'influence du rythme de l'action est présentée dans la section 4.1) et, dans une moindre mesure, la *préférence* de l'agent pour cette action. L'engagement concerne uniquement l'action en cours et sa valeur décroit linéairement au cours du temps. Inversement, la lassitude croît dès que la durée minimale est atteinte.

La priorité est également influencée par des facteurs extérieurs : le *prix de l'électricité* (les tâches consommatrices sont fortement pénalisées lorsque le tarif est élevé et très légèrement favorisée quand il est faible), l'*invitation* pour faire une action en commun (par le biais de message) et les *événements*.

La hiérarchie des différentes influences a été déterminée par les experts applicatifs et les valeurs déterminées empiriquement par exploration de l'espace des paramètres par les modélisateurs (*i.e.* seules les valeurs relatives sont significatives). Par exemple, l'engagement à l'action courante est moins important que l'invitation à faire une action collective.

Afin de pouvoir représenter les séquences d'activité (comme *aller au travail* nécessite de *s'habiller* qui lui même se fait après *prendre sa douche*), la priorité d'une action est également influencée par l'action la plus urgente dépendant d'elle-même, *i.e.* la priorité maximale de toutes les actions qui ont a en pré-condition : $pr_{dep} = max_{a.t \in a'.T_{pre}}\{a'.pr\}$ Ainsi, la priorité (effective) de l'action $a.pr$ est définit par : $a.pr = max\{a.pr_{raw}, pr_{dep}\}$

3.3 Implémentation

Pour simuler nos modèles, les plate-formes de simulation existantes ne sont pas satisfaisantes. En effe,t nous avons besoin d'une interface de modélisation et d'analyse spécifique et qui soit adaptée aux experts du domaine de l'énergie. Pour ce faire, nous avons donc choisi de développer un simulateur *ad hoc* en collaboration avec les ergonomes partenaires.

L'IHM d'analyse de simulation de SMACH (Fig. 1) permet devoir simultanément les éléments suivants. (1) La consommation électrique globale avec une couleur par appareil. Le panneau (2) détaille les activités des individus au cours d'une semaine (S25 sélectionnée en (1)) alors que les panneaux (3 et 3') permettent d'avoir le détail de l'activité par minute. Enfin, le panneau (4) permet d'observer 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 Organisation dynamique de l'activité

L'adaptation du comportement est une caractéristique essentielle de notre modèle car nous voulons pouvoir étudier la réaction d'un foyer à des tarifs électriques variables ou à des événements (vacances, maladie, etc.) mais aussi l'émergence d'habitude (lors de période avec peu de contrainte d'activité). Nous utilisons le terme *organisation* pour décrire la capacité des individus de coordonner leurs comportements. Chaque individu cherche à réaliser ses activités quotidiennes personnelles ou collectives, c'est-à-dire, dans le formalisme de SMACH, respecter les rythmes (fréquence et périodes préférentielles) associés à leurs actions. Cette faculté d'adaptation doit être modélisée par un processus continu afin de pouvoir prendre en compte la survenue d'événement, comme le changement de tarif électrique, mais aussi la modification de l'activité du foyer. Cependant, ce processus doit être suffisamment léger à l'exécution car nous réalisons des simulations s'étendant sur de longues périodes ($\geq$1 an) alors que le pas de temps est court (1 minute). Le processus d'adaptation est en fait double car il permet : (1) la gestion des contraintes et (2) l'organisation des actions non planifiées (*i.e.* sans rythme avec PP impérative).

4.1 Gestion des contraintes de la vie quotidienne

Le mécanisme de gestion des contraintes peut être vu comme une compétition entre les actions tentant de satisfaire leurs contraintes (fréquence et périodes préférentielles). Il y a deux types de contraintes dans ce cas : (1) sur les fréquences de réalisation (du fait de la limitation du nombre d'actions réalisables au cours d'une journée) et (2) contraintes horaires (du fait de la compétition lors de créneaux horaires se chevauchant).

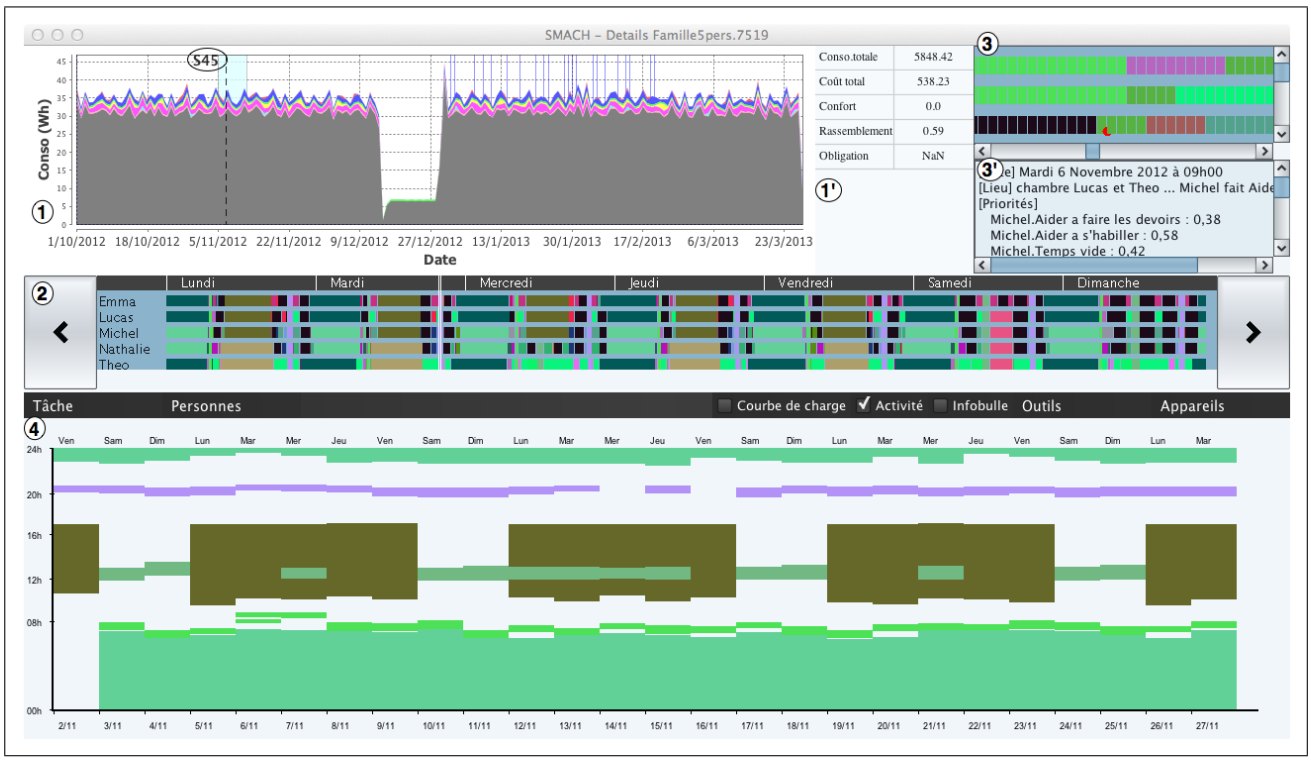

FIGURE 1 – IHM SMACH (mode analyse)

Cette compétition entre actions, ou organisation dynamique de l'activité, se traduit par une réévaluation quotidienne de la valeur de l'influence de période préférentielle (rythme) pour chaque action avec la politique suivante :

Augmentation du bonus : augmente la probabilité de réalisation au sein d'une PP. Effectuée lorsque l'action n'atteint pas son nombre de réalisation.
Diminution du bonus : augmente la probabilité de réalisation au sein d'une PP. Effectuée lorsque l'action est suffisamment réalisée. Cela favorise les autres actions en compétition et permet, ainsi, une capacité de (lente) réorganisation.
Augmentation de la pénalité : diminue la probabilité de réalisation en dehors des PPs. Effectuée lorsque des réalisations ont lieu hors de toute PP.
Diminution de la pénalité : augmente la probabilité de réalisation en dehors des PPs. Effectuée lorsque l'augmentation du bonus n'a pas permis d'atteindre le nombre de réalisation objectif. En effet, nous privilégions le nombre de réalisation par rapport aux PPs.

La valeur de bonus/pénalité est bornée. On peut donc buter sur une impossibilité récurrente d'atteindre l'objectif du nombre de réalisation. Dans ce cas, la durée des PPs peut être légèrement étendue.

4.2 Habitudes émergentes

Certaines actions n'ont pas de périodes préférentielles et peuvent donc être réalisées à n'importe quel moment. Cependant ces actions peuvent être organisées pour deux raisons : la planification augmente l'efficacité de l'organisation et il est plus réaliste que les agents individus possèdent des habitudes (qui ont une influence en termes de consommation électrique). Néanmoins, les rythmes de ces habitudes émergentes doivent pouvoir être outrepasser afin de pouvoir s'adapter aux circonstances et événements imprévus. Pour ce faire, la période de la dernière réalisation est mémorisée puis utilisée pour mettre à jour la planification de l'action. Concrètement, si une action trouve une opportunité de réalisation à une période donnée, celle-ci sera favorisée tant qu'elle sera en mémoire. Toutefois, notons que le modélisateur peut interdire la planification automatique si il considère que certaines actions ne doivent être effectuées qu'en cas d'*ennui*. De plus, des habitudes communes émergentes peuvent être créer : au lieu d'avoir un individu possédant une habitude faisant intervenir les autres au travers d'invitation, ils auront un comportement commun simultané-

ment.

Pour faciliter la recherche d'une première planification pour les actions mobiles, celles-ci ne sont pas affectées par l'influence des PPs lors de la première semaine de simulation. Par la suite chaque action mobile voit son influence de PP remise à zéro à une date déterminée aléatoirement. Ces suppressions temporaires permettent aux actions de trouver une meilleure planification potentielle. La fréquence et la durée de ces suppressions font parties des méta-paramètres contrôlant la mobilité globale d'actions et définissant une propension du foyer à une *routine* plus ou moins forte. Ces mécanismes d'adaptation permettent au foyer d'adapter dynamiquement ses activités suivant les circonstances. La section suivante montre cette capacité dans deux cas : (1) lorsque le tarif électrique varie provoquant des modifications importantes de la routine du foyer et (2) un membre du foyer voit son activité bouleversée drastiquement ce qui provoque, dans les deux cas, des répercussions sur le comportement de tous les membres du foyer.

5 Evaluation des capacités d'adaptation du foyer

Afin d'évaluer les capacités d'auto-adaptation nous allons comparer l'évolution de deux indicateurs sur un même scénario avec et sans ses capacités. Le taux de complétion des actions représente le ratio d'action menée à bien (non interrompue avant $t.\tau_{min}$) sur le nombre d'action initiée. Le taux d'occupation est le ratio entre le temps nécessaire à réaliser l'ensemble des activités contraintes (ayant des rythmes) par rapport au temps disponible. En cas de conflit horaire entre actions (plusieurs actions contraintes doivent être effectuées durant le même créneau horaire), un troisième indicateur a été définit et est présenté dans [1]. Dans cet article, nous ne nous intéressons donc pas à cette situation.

Ici, nous présentons 3 situations à résoudre : (1) le processus d'organisation initiale, (2) la ré-organisation induite par un changement de tarif électrique et (3) la ré-organisation suite à un changement majeur des activités du foyer. Avant toute chose, nous présentons le scénario de simulation.

5.1 Paramètres de Simulation

Le scénario représente une famille avec 2 parents (John et Marie) et un adolescent (Gustave). Chaque agent individu à trois types de tâche : planifiée (travail, école, ...), mobile (avec une fréquence fixe mais réalisables à tout moment : repassage, aspirateur, ...) et sans contrainte (regarder la TV, lire, ...). Ce scénario débute en Janvier et se finit au bout de 3 mois.

Sans permettre d'adaptation, nous obtenons un taux d'occupation moyen $\approx 88\%$ par semaine et par habitant. Ce taux est suffisamment élevé pour évaluer les capacités d'adaptation de notre modèle.

Notons que les contraintes de fréquence et d'horaires peuvent être outrepasser. En pratique, une hiérarchie de tâche est automatiquement créée : une tâche avec une contrainte de fréquence faible recevra une influence plus faible, et donc une probabilité de réalisation moindre, qu'une tâche ayant une contrainte élevée.

5.2 Création et stabilité de l'organisation

Lorsqu'on active les capacités d'adaptation, on obtient une évolution du taux de réalisation telle qu'attendue : il augmente régulièrement pendant 3 à 4 semaines puis se stabilise. La phase ascendante est révélatrice du processus d'organisation : les tâches non-planifiées trouvent des créneaux disponibles et celles contraintes adaptent également leurs influences si nécessaire. Nous obtenons un taux de $\approx 94\%$ à l'équilibre (le complément correspondant aux abandons d'activités).

Que penser de ce taux de réalisation de 94% ? Le taux d'occupation est de 88% et le temps passé à effectuer des activités non contraintes est de 6% - temps qui aurait pu être utilisé pour les actions contraintes - nous pouvons donc estimer qu'une meilleure organisation est possible. Cependant, l'optimisation n'est pas notre objectif car, bien que les foyers organisent leur emploi du temps, ils ne l'optimisent pas complètement. L'augmentation du taux de complétion ayant lieux durant les premières semaines démontre les capacités d'adaptation, cela est suffisant pour estimer que le foyer est capable de s'adapter à ces contraintes initiales.

Pour une observation plus précise du processus d'adaptation nous allons observer le diagramme d'activité sur le long-terme (Fig. 2) qui présente une vue synthétique des habitudes et de leurs évolutions. Celui est composé d'une succession de colonnes colorées : une colonne par jour et une couleur par tâche. L'axe vertical représente

l'heure du jour alors que l'axe horizontale renseigne sur la date du jour.

Ce diagramme (Fig. 2) est limité à deux tâches coordonnées : *jouer à l'ordinateur* en rouge (4 fois par semaine pour Gustave et Marie), *randonnée* en jaune (2 fois par semaine tous ensemble) et une tâche contrainte : *aller à l'école* en violet (qui nous facilitent le repérage des mercredis et des week-ends). Nous observons qu'*aller à l'école* avec ces fortes contraintes est très régulière alors que les deux activités de loisir bougent occasionnellement. Cet état de fait peut avoir plusieurs causes :

1. Du fait du processus d'organisation, une action peut prendre le créneau d'une autre. Par exemple, en début de simulation, une session de jeu a lieu tard le mardi et empêche de *dîner*. Par la suite, *dîner* adapte son bonus et, à partir de la troisième semaine, elle peut interrompre le jeu (*cf.* les 2 bandes rouge du diagramme).
2. Différents éléments stochastiques interviennent lors d'une simulation. L'un d'entre-eux est le tirage du nombre de réalisation à effectuer pour un jour donné. Par exemple, au lieu de *regarder la TV* le samedi après-midi, toute la famille va en *randonnée* à partir de la troisième semaine. En regardant dans le détail de la simulation (voir le détail de l'IHM d'analyse dans [1]) nous avons vu que Gustave obtient 0 réalisation à faire pour *regarder la TV* et, ainsi, la *randonnée* a une priorité suffisamment élevée pour être déclenchée pour lui et il envoie ensuite une invitation à ses parents.
3. Certains événements comme un nouveau tarif ou un changement des activités habituelles peut remettre en cause l'organisation. Ce point précis est présenté à la suite.

Dans le cadre général, Il est important de noter que le processus d'organisation induit une grande variabilité d'exécution. Même si deux familles sont très similaires en termes de structures et de contraintes, il est peu probable qu'elles aient une organisation identique. Néanmoins, les tâches ayant des contraintes fortes, comme travailler ou aller à l'école, sont menées de manières très similaires.

5.3 Ré-organisation suite à changement de tarif électrique

Pour présenter la ré-organisation des activités du foyer du fait d'un changement de tarif électrique, nous gardons les même paramètres de simulation hormis le prix qui n'est plus uniforme en Février. Au cours de ce mois, nous simulons une nouvelle politique tarifaire : un prix élevé de 6h à 12h du lundi au samedi (pour inciter les clients à diminuer leur consommation durant ce créneau horaire).

Comme dit précédemment, une sensibilité au coût de l'électricité est incluse dans le modèle sous forme d'influence sur la priorité de l'action. Plus précisément, les tâches consommatrices reçoivent une pénalité lorsque le tarif est élevé et un léger bonus sinon. La valeur de l'influence est variable d'un individu à l'autre pour représenter différentes sensibilité (à la charge du modélisateur de la définir). Dans notre cas, Gustave est bien moins sensible que ses parents.

Le diagramme d'activité, figure 3, présente toutes les activités consommatrice d'électricité du foyer avec en gris les périodes chères. Nous pouvons voir que la majorité des tâches consommatrices migrent du matin à l'après-midi ou au soir dès le début de Février, la routine du Dimanche matin étant la seule conservée. Il y a une exception cependant : Gustave continue d'utiliser l'ordinateur le mercredi matin n'ayant cure des économies.

Logiquement la migration des tâches consommatrice impliquent une ré-organisation importante de l'activité globale. Par exemple, la sessions de jeu du mercredi matin (de Marie) est déplacée au soir. Cependant, cette perturbation est à peine notable au niveau du taux de complétion (diminué d'à peine 1% lors de la semaine 5).

Fin Février, le prix est à nouveau uniforme et au bout de 3 semaines les tâches consommatrices sont de retour le matin : c'est le temps nécessaire pour se défaire des habitudes prises au mois de Février.

5.4 Ré-organisation due à un changement de l'activité du foyer

Les gens ont des enfants, partent en vacances, changent de travail, *etc.* : ces changement majeurs du foyer interviennent ponctuellement mais notre modèle comportemental doit être capable de s'y adapter et ce de manière durable. Pour présenter cette capacité, nous prenons un exemple basé sur un scénario similaire au premier présenté. Celui-ci dure 10 semaines et l'activité de Marie est différente : elle commence la

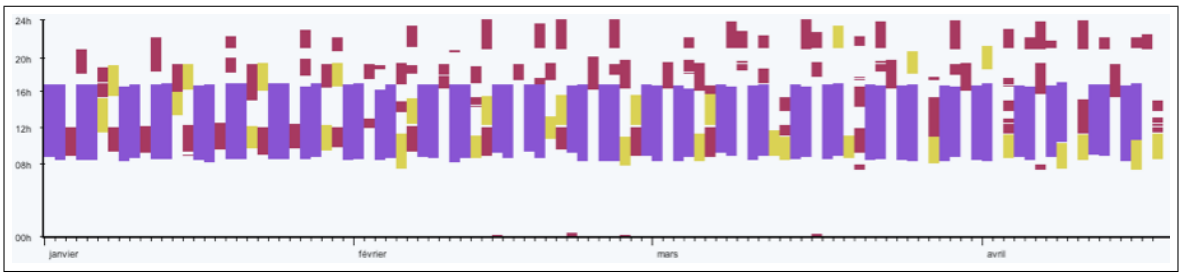

FIGURE 2 – Diagramme d'activité avec 3 tâches : Aller à l'école (violet), Jouer à l'ordinateur (rouge) et randonnée (jaune)

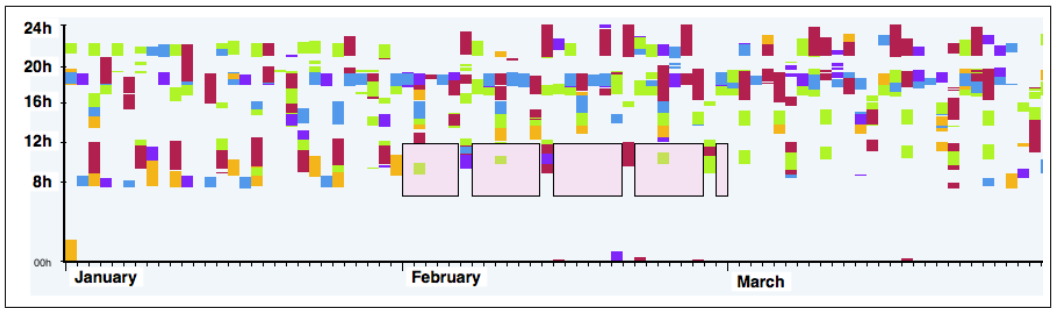

FIGURE 3 – Diagramme d'activitées des tâches avec appareils électriques. Les carrés gris précisent les périodes à tarif élevés.

simulation sans emploi puis, à partir de la semaine 5, elle travaille à plein temps du lundi au vendredi.

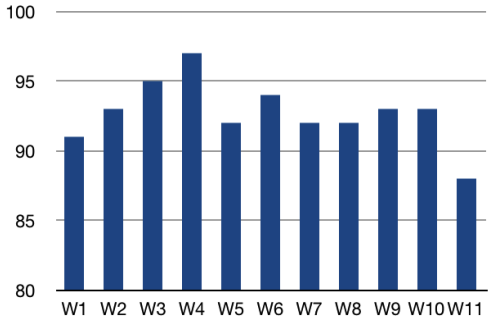

FIGURE 4 – Taux de complétion par semaine

Au cours de cette simulation le taux de complétion (figure 4) chute drastiquement lorsque Marie commence à travailler (de 97 à 93%). Il y a donc bien un lien direct entre taux d'occupation et les difficultés du foyer à réaliser toutes ses tâches (*i.e.* à s'organiser). Malgré cette chute, nous observons un phénomène intéressant concernant les travaux ménagers. Au cours des 4 premières semaines, Marie effectue plus de 70% d'entre-eux car elle a plus de temps libre que John (voir Fig. 5). Par la suite, sa charge de travail augmente et une part importante de ces travaux est réalisée par John. Comme elle travaille plus que John, celui-ci va même jusqu'à réaliser $\approx 60\%$ de ces tâches. De son côté, Gustave participe également de manière limitée (les seules tâches ménagères qu'il peut faire étant préparation du petit-déjeuner et du déjeuner). Bien que le partage équilibré des

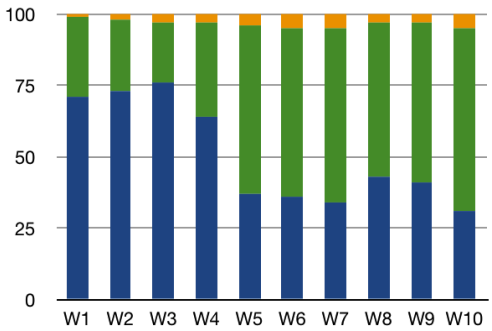

FIGURE 5 – Partage des tâches ménagères (Marie en bleu, John en vert et Gustave en Jaune)

tâches ménagères n'est pas une caractéristique générale des foyers nous considérons que notre mécanisme d'allocation de la charge de travail est utile pour définir des orientations générales. Le modélisateur peut restreindre ou contraindre

ce mécanisme à l'aide de rythmes.

6 Conclusion

Dans ce papier nous avons présenté un simulateur multi-agent de l'activité humaine, SMACH, et le méta-modèle associé. Celui-ci permet aux experts du domaine de représenter à la fois les activités de "routine" du foyer ainsi que des événements plus aléatoire (*i.e.* maladie, changement de travail, etc.) qui font partie de la vie quotidienne. Ce méta-modèle se base sur une définition quantitative de tâches planifiées (*i.e.* fréquence, périodes préférentielles et degré d'obligation). Nous avons également démontrer les capacités du modèle à représenter des habitudes contraintes et émergentes. Pour ce faire, nous avons présenté un exemple de simulation avec l'introduction d'un tarif électrique variable et une autre au cours de laquelle les contraintes professionnelles d'un individu sont drastiquement changées et, par voie de conséquence, l'organisation de l'activité globale du foyer qui est affectée.

Les perspectives de ce projet sont de trois ordres : (1) améliorer la calibration du framework, (2) l'utilisation d'un modèle thermodynamique évolué et (3) le passage à l'échelle. Premièrement, notre partenaire applicatif (EDF) conduit à l'heure actuelle des études de terrains avec des mesures d'activité (et de consommation) précises qui pourront être utilisées. Ces mesures en conjonction avec des simulations participatives nous permettrons de valider certaines hypothèses faites par les experts énergéticiens. Deuxièmement, le modèle de chauffage actuellement utilisé est simpliste au vue de nos objectifs. Nous sommes donc en train de coupler un modèle thermodynamique externe [7] et de développer un modèle de confort inspiré de celui proposé par Fanger [11] (afin de contrôler de manière réaliste l'environnement thermique). Enfin, nous voulons pouvoir nous intéresser aux dynamiques de groupes sociaux et nous allons donc augmenter l'échelle de représentation afin de pouvoir représenter des populations de foyer de l'ordre du quartier.

Références

[1] E. Amouroux, T. Huraux, F. Sempe, N. Sabouret, and Y. Haradji. Simulating Human Activities to Investigate Household Energy Consumption. In *Proc. of ICAART'13*, 2013.

[2] European Environment Agency. Energy and environment report. Technical Report 6, European Commission, 2008.

[3] FIPA consortium. FIPA Communicative Act Library Specification and FIPA ACL Message Structure Specification. Technical report, Foundation for intelligent physical agents, 2003.

[4] Y. Haradji, G. Poizat, and F. Sempé. *Human Activity and Social Simulation*, pages 416–425. CRC Press, 2012/08/29 2012.

[5] A. Kashif, S. Ploix, J. Dugdale, and X. H. B. Le. Simulating the dynamics of occupant behaviour for power management in residential buildings. *Energy and Buildings (online pre-print)*, 2012.

[6] A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. Hurink, and G. J. M. Smit. Management and control of domestic smart grid technology". *IEEE Trans. Smart Grid*, pages 109–119, 2010.

[7] G. Plessis, S. Filfli, C. Muresan, and H. Bouia. Using design of experiments methods to develop low energy building model under modelica. In *IBPSA 2011*, 2012.

[8] 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.

[9] M. Sierhuis, W. J. Clancey, and R. J. J. Van Hoof. Brahms : a multi-agent modelling environment for simulating work processes and practices. *Int. J. of Sim. and Proc. Modelling*, 3(3) :134–152, 2007.

[10] US Department of Energy. Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them. Technical report, 2006.

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

[12] Z. Zhou, W. K. V. Chan, and J. H. Chow. Agent-based simulation of electricity markets : a survey of tools. *Artificial Intelligence Review*, 28(4) :305–342, 2007.