



**HAL**  
open science

## Dans quelle mesure les simulations informatiques de l'activité humaine sont-elles réalistes ?

Jean-Baptiste Ly, Quentin Reynaud, Chloé Le Bail, Mathieu Schumann, V Boccara, Nicolas Sabouret

► **To cite this version:**

Jean-Baptiste Ly, Quentin Reynaud, Chloé Le Bail, Mathieu Schumann, V Boccara, et al.. Dans quelle mesure les simulations informatiques de l'activité humaine sont-elles réalistes?. Rencontres Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA), Jul 2023, Strasbourg, France. hal-04163953

**HAL Id: hal-04163953**

**<https://hal.science/hal-04163953>**

Submitted on 17 Jul 2023

**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.

# Dans quelle mesure les simulations informatiques de l'activité humaine sont-elles réalistes ?

J-B. Ly<sup>1,2</sup>, Q. Reynaud<sup>3</sup>, C. Le Bail<sup>1</sup>, M. Schumann<sup>2</sup>, V. Boccaro<sup>1</sup>, N. Sabouret<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Université Paris-Saclay, CNRS, LISN, France

<sup>2</sup> EDF R&D, France

<sup>3</sup> QRCI, France

## Résumé

*Cet article s'intéresse à la notion de réalisme des simulations informatiques de l'activité humaine. Nous proposons une liste de propriétés de l'activité humaine basée sur l'ergonomie comme base pour qualifier le réalisme de ces simulations. Nous proposons une critique des approches informatiques de simulation de l'activité humaine à partir de ces propriétés. Nous proposons d'étudier ces propriétés sous le prisme des données afin d'identifier celles qui contribuent au réalisme de la simulation de l'activité humaine. Enfin, nous proposons un début d'approche hybride prenant en compte des facteurs impactant l'activité humaine, permettant de dépasser les limites des autres approches de l'état de l'art.*

## Mots-clés

*Simulation de l'activité humaine, réalisme d'une simulation, ergonomie.*

## Abstract

*This article focuses on the notion of realism of computer simulations of human activity. We propose a list of properties of human activity based on ergonomics as a basis to qualify the realism of these simulations. We propose a critique of computer approaches to simulating human activity based on these properties. We propose to study these properties under the prism of the data to identify those which contribute to the realism of the simulation of human activity. Finally, we propose the beginning of a hybrid approach considering factors impacting human activity, allowing to overcome the limits of other approaches of the state of the art.*

## Keywords

*Human activity simulation, realistic simulation, ergonomics.*

## 1 Introduction

En informatique, la simulation consiste à « reproduire artificiellement [...] un système, un phénomène, à l'aide [...] d'un programme informatique [...] »<sup>1</sup>. La simulation informatique de l'activité humaine est utilisée à différentes

fins dont deux que nous retenons particulièrement : 1) prédire et analyser un phénomène dépendant de l'activité humaine sur un temps long (e.g., la consommation d'énergie) [1, 41, 35], 2) analyser des phénomènes difficilement reproductibles en conditions réelles comme l'évacuation d'un bâtiment lors d'un incendie [34] ou la propagation de virus due aux interactions sociales [14]. La simulation informatique de l'activité permet d'étudier ces phénomènes pour se préparer aux crises. Les interactions entre les individus ainsi qu'entre ces derniers et leur environnement sont simulées. Quel que soit l'usage ou la finalité de la simulation, respecter les propriétés de l'activité humaine dans la simulation est incontournable pour tirer des conclusions fiables et de qualité. Ceci nécessite toutefois de se doter d'une définition robuste de ce qu'on entend par le réalisme d'une simulation informatique de l'activité humaine.

Pour répondre à cette question de recherche, nous proposons d'investiguer les apports de l'ergonomie, dont un des concepts centraux est celui d'activité humaine. Selon l'International Ergonomics Association, "L'ergonomie (ou les facteurs humains) est la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système [...]. L'ergonomie est une discipline orientée vers les systèmes, qui s'étend aujourd'hui à tous les aspects de l'activité humaine."<sup>2</sup>.

Tout d'abord, nous présentons les apports de l'ergonomie pour appréhender les propriétés de l'activité humaine. Puis nous présentons différentes approches informatiques pour simuler l'activité humaine. Ensuite nous discutons des limites des différentes approches informatiques qui visent à simuler les propriétés de l'activité humaine, et des différents types de données alimentant ces modèles de simulation informatique. Enfin, nous proposons une nouvelle approche permettant de dépasser les limites identifiées en couplant un modèle informatique hybride d'activité humaine avec une démarche de recueil de données.

1. <https://www.cnrtl.fr>

2. <https://iea.cc/>

## 2 L'activité humaine en ergonomie

Comment définir l'activité humaine ? Pour répondre à cette interrogation, nous allons identifier des propriétés de l'activité humaine telles qu'elles sont appréhendées en ergonomie, en vue de définir ce que pourrait être le réalisme de la simulation informatique de l'activité humaine.

### 2.1 L'activité humaine

#### 2.1.1 Différentes visions de l'activité humaine

L'activité définie dans [13] possède les propriétés suivantes :

- « L'activité est saisie au travers des comportements "visibles" » ([13], p. 48). L'activité et le comportement se distinguent : le comportement est "ce qu'on voit" [25]. Les gestes, les postures, les regards et les communications entre individus sont des exemples [13]. Le comportement n'est qu'une partie visible de l'activité.
- L'activité peut être expliquée par des logiques d'action. Autrement dit, les enchaînements de décision ne sont pas anodins et sont sous-tendus par des raisonnements et, plus largement, des processus cognitifs.
- Les humains ne sont pas impassibles. Leurs processus cognitifs sont impactés par leur "vécu", leurs expériences et leurs émotions.
- Les humains sont des êtres biologiques. Leur activité et leur processus biologiques sont liés. Par exemple, l'ergonome peut interpréter les comportements en analysant leurs mesures physiologiques comme le rythme cardiaque.

Les émotions sont aussi une composante importante de l'activité humaine [10]. La vision de l'activité dans [15] rejoint celle dans [13] en disant que l'activité humaine repose sur la cognition car elle "mobilise et construit des savoirs". Dans le contexte des formations des adultes, nous dégagons à partir des travaux dans [16] les propriétés suivantes de l'activité humaine :

- L'autonomie des individus : chacun peut évoluer tout en étant indépendant de facteurs extérieurs.
- L'activité est collective : c'est leur capacité de s'organiser ensemble. L'activité collective émerge à partir des activités individuelles.
- Le couplage individu-environnement : chaque individu possède sa propre vision de son environnement.
- Le vécu et l'expérience de l'individu.

Dans le cadre de l'activité domestique, les propriétés théoriques de l'activité présentées dans [24] rejoignent celles dans [16] : l'autonomie des systèmes vivants traduite par l'activité individuelle des acteurs, l'activité collective, et le couplage asymétrique de l'acteur avec son environnement. « Cette interaction est asymétrique car c'est l'acteur qui définit ce qui est significatif/pertinent pour lui dans son environnement. » ([24], p. 7). Néanmoins la dimension émotionnelle des individus n'y figure pas. Les auteurs de l'article [24] prolongent la définition de l'activité humaine par

des analyses empiriques sur l'activité humaine avec les travaux de l'article [18]. Ils ont permis d'identifier plusieurs propriétés de l'activité réelle des personnes des ménages :

- La dynamique individuelle caractérisée par la flexibilité des activités. Les individus peuvent arrêter leur activité en cours pour la déplacer plus tard, l'interrompre totalement... Par exemple, un individu faisant des travaux chez soi, peut les interrompre et les reprendre le lendemain. L'activité de l'individu possède des variabilités structurées autour d'une routine quotidienne.
- La dynamique collective caractérisée par l'articulation de plusieurs dynamiques individuelles. Les individus se coordonnent, ils interagissent ensemble et forment cette dynamique collective. Ils peuvent participer à la même activité.
- Le couplage de l'activité à l'environnement : la disposition des éléments composant l'environnement impacte l'activité humaine. L'agencement des pièces dans une maison impacte l'activité des individus.

Les travaux empiriques présentés dans [18] et la définition de l'activité humaine dans [16] et dans [24] ont alors en commun les activités individuelles et collectives, et la prise en compte de l'environnement. Le caractère empirique rejoint le comportement visible et capturable [13]. Enfin, la notion de variabilité est importante en ergonomie. Les états des personnes, les objets composant l'environnement peuvent changer au cours du temps et impacter l'activité sous la forme de "variabilités de situations" [11]. Un déterminant ici, est un élément, un facteur, impactant l'activité. Le déterminant est la cause de ces variabilités. Les déterminants peuvent être externes, propres à la situation, comme l'organisation, l'environnement etc ; ou alors internes, propres à l'Homme, comme le sexe, l'âge, l'expérience, les états instantanés (physique, psychique, etc.), etc. L'auteur dans [3] reprend cette différence entre les déterminants internes et externes.

#### 2.1.2 Les propriétés de l'activité humaine retenues

Bien qu'il existe un socle de base partagé au sein des théories de l'activité mobilisées en ergonomie [12], les auteurs se centrent sur certaines propriétés de l'activité humaine selon leur objet de recherche. Dans notre cas, nous proposons une liste de propriétés de l'activité humaine qu'il nous semble essentielle dans un objectif de réalisme de la simulation de l'activité humaine.

- L'activité est individuelle : elle est caractérisée par des variabilités et des régularités à différentes échelles temporelle et spatiale.
- L'activité est collective : les individus sont capables de s'organiser et d'interagir ensemble. Ainsi l'articulation des activités individuelles forment une activité collective. Autrement dit, l'activité collective émerge à partir des activités individuelles.
- Le couplage individu-environnement : les individus évoluent dans un environnement, dont chacun a sa propre vision. L'individu interagit avec son environ-

nement.

- L'autonomie des individus : les individus sont capables d'évoluer en relative indépendance des caractéristiques de l'environnement dans lequel ils évoluent.
- La cognition et les émotions : l'activité dépend pour partie des processus mentaux des individus, et de leurs émotions.

Comment pouvons-nous qualifier le réalisme de la simulation de l'activité humaine au regard de ses propriétés que nous venons de définir ?

## 2.2 Le réalisme de la simulation de l'activité humaine

Les principes théoriques et les analyses empiriques des auteurs dans [24] leur « [...] ont permis de situer le réalisme de la simulation par rapport à l'activité humaine. » ([24], p. 15)). Dans ce cas, les principes théoriques et empiriques de l'activité humaine qu'ils ont établis sont tous représentés dans leurs simulations. Cependant, nous pouvons identifier des limites au réalisme des simulations basées sur ces propriétés. Par exemple, leurs simulations manquent de variabilités temporelles. Les simulations produisent des activités globalement similaires d'un jour à l'autre. De plus, les émotions ne sont pas simulées. Pour autant, ils considèrent leurs simulations comme réalistes.

Ainsi dans la même idée, il est possible d'avoir une simulation de l'activité humaine réaliste sans pour autant respecter toutes les propriétés de l'activité humaine. À la place, nous pourrions parler plutôt de simuler de manière réaliste une ou plusieurs propriétés de l'activité humaine que nous aurions choisies.

Comment pouvons-nous les traduire dans le cadre de la simulation de l'activité humaine ? Autrement dit, quelles sont les propriétés non plus de l'activité humaine, mais de sa simulation ?

- L'activité est individuelle : les simulations doivent pouvoir se situer à l'échelle d'un individu. De plus, l'activité individuelle doit aussi bien posséder des variabilités que des régularités.
- L'activité est collective : les individus simulés doivent pouvoir interagir et se coordonner entre eux. Une activité collective doit donc pouvoir émerger à partir de plusieurs activités individuelles.
- Le couplage individu-environnement : les activités individuelle et collective doivent être structurées dans un environnement. Les interactions entre les individus et leur environnement doivent pouvoir être prises en compte, ce qui signifie que les facteurs environnementaux doivent être représentés et impacter l'activité humaine et inversement.
- L'autonomie des individus : La capacité d'adaptation des individus dans leur environnement doit pouvoir être simulée. La simulation doit prendre en compte la réactivité des individus.
- La cognition et les émotions : représenter les pro-

cessus mentaux et cognitifs basiques, des émotions simples et leurs impacts sur les activités simulées. Les changements émotionnels doivent pouvoir être simulés.

Nous venons de dégager plusieurs propriétés de l'activité humaine simulée. Nous pouvons alors nous demander si les simulations informatiques de l'activité humaine existantes respectent ces propriétés, et lesquelles ? Intéressons-nous alors aux approches informatiques simulant l'activité humaine.

## 3 Les simulations informatiques de l'activité humaine

Il existe différentes façons de modéliser l'activité humaine : les approches non-centrées agent (déterministes ou statistiques), et les approches multi-agents (classiques, couplées aux statistiques ou basées sur la simulation participative). Cette dernière se centre sur la simulation d'individus qui entrent en interaction, ce qui permet de produire des phénomènes émergents que l'on peut ainsi observer et dont on peut analyser les processus d'émergence.

### 3.1 Les approches non-centrées agent

#### 3.1.1 Les approches déterministes

Les approches déterministes ont deux caractéristiques principales.

La première est l'immuabilité des simulations de l'activité humaine avec des mêmes paramètres d'entrée.

La seconde concerne la simulation en elle-même, l'activité générée durant la simulation est répétitive et manque alors de variabilités. Ces limites sont rencontrées par exemple parmi les simulations informatiques urbaines, il est possible d'utiliser des profils déterministes d'occupation des résidences [9]. Il existe aussi plusieurs modèles déterministes pour générer les emplois du temps représentant l'activité humaine [21]. Un emploi du temps est décrit par un enchaînement d'activités que font les individus durant une période de temps donnée. Les approches déterministes sont ainsi efficaces lorsque que l'on souhaite simuler une activité humaine statique. Elles le sont en revanche moins lorsque que l'on souhaite comme nous, simuler aussi bien des régularités que des variabilités à l'échelle individuelle.

#### 3.1.2 Les approches statistiques

Les approches statistiques sont des approches stochastiques. Chaque simulation exécutée diffère l'une de l'autre, et, chaque simulation varie elle-même au cours du temps, produisant des variabilités inter- et intra-simulation.

Parmi ces approches, le processus de Bernoulli génère des événements qui sont indépendants des uns des autres [47], contrairement aux chaînes de Markov [32]. Ces dernières sont utilisées par exemple pour générer des probabilités d'activation des activités [29], et des emplois du temps d'individus simulés [31]. L'activité courante choisie par l'agent va dépendre des activités choisies précédemment.

Bien que ces approches permettent de simuler l'activité humaine tout en intégrant des variations entre les simu-

lations, la coordination et la réactivité des individus ainsi que leur évolution dans un environnement sont complexes à reproduire [38].

L'approche formulée dans [29] présente des facteurs d'influence, dont quelques-uns issus de l'environnement, mais ne les intègre pas dans leur modèle de simulation. Ils sont plutôt traités en pré-simulation. Ainsi si l'environnement change, il faut traiter à nouveau les données issues de l'environnement avant d'exécuter de nouvelles simulations. L'activité simulée ne s'adapte donc pas de façon réactive aux changements de l'environnement.

L'approche exprimée dans [27] repose sur une modélisation statistique des comportements des ouvertures et fermetures de fenêtre dans un logement en prenant en compte des facteurs physiques environnementaux, mais la prise de décision collective n'est pas prise en compte.

Dans [48] la modélisation des interactions entre les émotions est suggérée car elles sont une composante importante de la cognition et elles sont une réponse à des stimuli de l'environnement. Ainsi les auteurs ont modélisé les émotions avec les chaînes de Markov, où chaque état représente une émotion. L'approche employée dans [33] simule aussi les changements émotionnels, en se basant sur des automates finis. Mais les interactions entre les individus ne sont pas simulées.

En conclusion, les approches statistiques, en particulier les chaînes de Markov, permettent de simuler un enchaînement d'événements dépendants des précédents. Leur caractère stochastique permet d'obtenir des simulations non-déterministes intégrant des variabilités inter- et intra-simulations. Elles peuvent aussi prendre en compte des facteurs d'influence comme ceux issus de l'environnement. Néanmoins ces approches ne visent pas à reproduire des interactions réactives entre les individus et leur environnement. Les propriétés de l'activité simulée d'activité collective et d'autonomie des individus ne sont pas simulées.

Pour prendre en compte la réactivité des agents face à l'environnement et l'aspect social entre les individus, il faut se diriger vers les approches multi-agents.

## 3.2 Les approches multi-agents

### 3.2.1 Les approches classiques

Le caractère stochastique des systèmes multi-agents se décrit par deux critères [46]. Premièrement, l'agent agit sur son environnement au cours de la simulation, ce qui signifie que l'environnement peut être modifié en fonction des actions de l'agent. L'environnement n'est alors pas figé. Deuxièmement, les décisions de l'agent en interaction avec son environnement ne sont pas déterministes.

En plus de leur autonomie et de la prise en compte de leur environnement, les coordinations entre agents sont une caractéristique forte des systèmes multi-agents. Les interactions notamment spatiales entre les agents sont au cœur de la simulation. Dans le milieu urbain, les déplacements humains sont reproduits pour simuler leur

impact sur la propagation de virus dans un environnement [44, 42, 20], mais aussi pour étudier l'activité des piétons [45]. L'avantage ici, est la reproduction des activités collectives émergentes à partir des comportements individuels articulés ensemble.

Le modèle BDI (Belief-Desire-Intention) reprend ces deux points sur l'environnement : l'agent possède des croyances sous forme d'informations sur son environnement et sur les autres agents du même environnement, et chaque agent possède des objectifs et prend ses propres décisions pour les atteindre [7].

Ce modèle permet de prendre en compte la cognition et les émotions au sein de l'activité des agents dans l'objectif de rendre les simulations plus réalistes d'un point de vue social, par exemple dans le cadre d'une évacuation d'un bâtiment incendié [6]. Le modèle EBDI (Emotion, Belief, Desire, Intention) proposé dans [26] intègre les émotions dans le modèle BDI.

Il existe aussi d'autres approches cognitives, comme celles présentées dans la review [37]. Les approches décrites dans cette dernière sont des modèles multi-agents prenant en compte la notion de confiance et de réputation entre les individus. Néanmoins la plupart des modélisations de la cognition de la review ne sont pas ou difficilement implémentables à cause de leur complexité [37].

Les approches classiques multi-agents peuvent considérer toutes les propriétés de l'activité humaine simulée. Néanmoins il peut être compliqué de calibrer les régularités et variabilités de l'activité des agents. Pour cela, il existe des approches mixant les approches multi-agents et les approches statistiques.

### 3.2.2 Les simulations multi-agents couplées aux statistiques

Cette hybridation permet une calibration de l'activité des agents grâce à des données statistiques pour l'échelle macroscopique, tout en ayant une activité autonome et coopérative à l'échelle microscopique. Le modèle proposé dans [38] génère statistiquement les emplois du temps d'agents en fonction des typologies des individus et de leurs journées. Dans [1], des modèles probabilistes sont utilisées pour simuler les différents états d'un occupant de foyer tout en ayant des agents réactifs.

Ce couplage des statistiques avec le système multi-agent possède plusieurs avantages. Tout d'abord, elle permet aussi bien de simuler l'échelle microscopique grâce à l'approche centré sur l'agent, et à l'échelle macroscopique avec des données statistiques. Ainsi pour vérifier la validité des résultats à une large échelle, les données simulées peuvent être comparées aux données réelles, grâce à l'agrégation des données individuelles simulées [38]. Néanmoins, les données simulées peuvent ne pas être réalistes, dans la mesure où elles peuvent être proches des statistiques, mais éloignées des phénomènes opérant à l'échelle individuelle.

En revanche, nous ne sommes pas assurés que la calibration à l'échelle microscopique est comparable à la réalité. Comment pouvons-nous nous assurer que l'activité individuelle simulée l'est de manière réaliste ?

### 3.2.3 Les simulations multi-agents participatives

Les simulations participatives sont un moyen de répondre à ce questionnement. Ce sont des simulations multi-agents où les agents peuvent être contrôlés par des personnes réelles, notamment au travers d'IHM dédiées [19]. Cette méthode est exploitée afin de valider qualitativement à l'échelle microscopique leur modèle multi-agent en confrontant les simulations à la vie de personnes dont la vie quotidienne est simulée sur une semaine [23]. Les auteurs précisent que les participants ont pu effectivement reproduire des moments de la vie réelle. Néanmoins, les participants se concentraient sur les régularités de leur vie quotidienne et non pas sur sa variabilité. Les participants peuvent alors omettre les variabilités durant la simulation.

Outre la validation de la simulation, un autre objectif de la simulation participative est décrit dans [2]. Il s'agit de la construction de nouvelles idées à partir de réflexions collectives grâce à la simulation participative. Cette méthode participative est utilisée pour stimuler l'apprentissage social [28].

En faisant participer des humains dans les simulations, les relations sociales complexes sont alors intégrées dans la simulation comme la réputation et la confiance [19]. De plus, grâce aux traces de la simulation enregistrées [19], des analyses peuvent être faites sur les simulations afin de comprendre les règles régissant les interactions entre les humains [4]. Comme les systèmes multi-agents classiques, des activités collectives peuvent émerger.

Enfin, il est possible de combiner cette participation avec un aspect ludique afin d'éveiller des réflexions sur la réduction de la consommation d'énergie à l'échelle d'un ensemble de ménages [5]. D'ailleurs, la simulation participative est comparée avec les jeux de rôles dans [8]. Mais cet aspect ludique peut être un obstacle au réalisme car les participants pourraient ne pas reproduire la même activité dans la réalité sans le cadre ludique.

En conclusion, les approches multi-agents ont le principal intérêt de jouir de l'autonomie des agents. Ils sont capables de réagir et de s'adapter par rapport à leur environnement et par rapport aux autres agents. Mais l'activité peut être difficile à calibrer. Pour cela, il est possible de les combiner avec les approches statistiques. Une autre façon est de remplacer le contrôle virtuel des agents par le contrôle humain grâce à la simulation participative qui ne nécessite pas de données statistiques.

## 3.3 Synthèse

Nous venons de présenter plusieurs approches informatiques permettant de simuler l'activité humaine. Chacune de ces méthodes simule différemment l'activité humaine. Cer-

taines propriétés de l'activité humaine simulée sont prises en compte, d'autres non, en fonction de l'approche employée.

Toutefois, bien que certaines propriétés de l'activité humaine simulée soient modélisées par ces approches informatiques, elles le sont de différentes manières. Nous allons voir quelles sont les approches informatiques les plus à même de les simuler.

## 4 Discussions

### 4.1 Comparaisons des approches informatiques en vue de simuler une activité humaine réaliste

Nous pouvons désormais lier les approches à leurs propriétés en indiquant le degré d'adaptation au réalisme de la simulation de l'activité humaine.

Pour cela, nous comparons la capacité des différentes approches informatiques à simuler les propriétés de l'activité humaine simulée. Nous notons cette capacité sur une échelle de 0 à 2 dans le tableau 1, allant du plus faible niveau d'adaptation au plus élevé.

Les approches non-centrées agent, ne peuvent en général simuler l'activité collective car elles ne simulent pas les interactions entre les individus. De plus, elles ne simulent pas non plus la réactivité des agents, et donc leur caractère autonome.

Les approches déterministes non-centrées agent peuvent simuler l'activité humaine à l'échelle individuelle. La dualité régularités/variabilités n'est pas simulée car les variabilités ne sont pas prises en compte. Un environnement est dynamique, il peut changer au cours du temps, ainsi il ne peut être pris en compte par une approche déterministe. Inversement pour les mêmes raisons, les approches statistiques et probabilistes simulent la balance régularités/variabilités et peuvent prendre en compte l'environnement et son couplage avec l'individu. Les changements émotionnels nécessitent des variations et peuvent être des réponses à notre environnement, donc seules les approches non déterministes peuvent les prendre en compte.

Néanmoins, dans ces approches, l'activité de l'individu n'est pas le centre de la simulation, contrairement justement aux approches centrées agent, qui elles ont des agents représentant des individus. Les agents sont réactifs, ils s'adaptent à leur environnement. Inversement, l'environnement est impacté par l'activité des agents. Grâce à leur réactivité et adaptabilité, les agents sont donc autonomes. Le modèle BDI permet de reproduire des processus cognitifs basiques. Nous pouvons imaginer aussi un couplage des méthodes probabilistes modélisant ces processus cognitifs basiques, combinées avec les systèmes multi-agents sans passer par le modèle BDI. Les agents virtuels sont capables d'interagir ensemble et de se coordonner spatialement. L'activité collective émerge alors à partir des activités individuelles. Cependant les simulations participatives avec des vrais humains améliorent cette facette puisqu'ils

	Activité individuelle	Régularités / Variabilités	Activité collective	Individu - Environnement	Autonomie	Cognition - Emotion
Déterministes non-centrées agent	1	0	0	0	0	0
Statistiques, probabilistes non-centrées agent	1	1	0	1	0	1
SMA (BDI)	2	1	1	2	2	2
SMA-statistiques	2	1	1	2	2	1
SMA participatives	2	1	2	2	2	2

TABLE 1 – Les approches informatiques et leurs propriétés de l’activité humaine  
0 : mauvaise adaptation au réalisme; 1 : adaptation passable; 2 : bonne adaptation

peuvent communiquer ensemble réellement. Le problème reste la prise en compte des régularités et des variabilités puisque les statistiques ne permettent que de simuler des données moyennes, et les vrais individus des simulations participatives peuvent parfois ne se focaliser que sur les régularités de leur activité [24].

En conclusion, les systèmes multi-agents sont les plus adaptés pour simuler les propriétés de l’activité humaine. Cependant, nous remarquons qu’aucune approche n’arrive à simuler entièrement ces propriétés. Par exemple, les régularités et les variabilités ne sont pas simulables entièrement pour toutes les approches.

Par ailleurs, se pose la question des données nécessaires pour alimenter les modèles notamment les systèmes multi-agents, qui doivent les utiliser pour initialiser et calibrer l’activité des agents. Les données statistiques purement quantitatives et agrégées ne sont probablement pas suffisantes. Qu’en est-il des données qualitatives et/ou individuelles ?

## 4.2 Les données pour les propriétés de l’activité humaine simulée

Pour chaque propriété de l’activité humaine simulée, des données sont nécessaires et impactent la capacité de l’approche à simuler l’activité humaine.

- L’activité est individuelle : les données peuvent être qualitatives. Par exemple, l’activité des personnes peut être filmée et analysée ensuite [18]. Elles peuvent aussi être quantitatives, dans [39] des données de eye-tracking sont exploitées pour analyser l’activité des pilotes d’avion. Un autre moyen est d’utiliser les enquêtes emploi du temps pour simuler statistiquement l’activité à l’échelle individuelle [22]. Ce sont des journaux de bord où les individus écrivent leurs activités durant quelques jours. Il est aussi possible d’utiliser une application mobile en guise de journal de bord pour récolter les mêmes types de données [17].
- L’activité est collective : elle utilise des données individuelles et agrégées. Par exemple, des données agrégées d’enquête emploi du temps sont utilisées dans [38] pour valider les simulations à l’échelle

macroscopique.

- Le couplage individu-environnement : L’environnement peut être généré à partir de données géographiques [43]. Les interactions entre les individus et leur environnement peuvent être filmées pour ensuite être analysées et reproduites [24].
- L’autonomie des individus : les données sont qualitatives et peuvent utiliser les mêmes données que celles exploitées par l’activité individuelle [24].
- La cognition et les émotions : les données peuvent être aussi bien quantitatives puisque les émotions peuvent être modélisées stochastiquement. Mais elles peuvent aussi exploiter des données qualitatives et les convertir en données quantitatives. Par exemple, pour simuler les émotions faciales des agents conversationnels, il est possible de filmer des acteurs et d’utiliser des modèles statistiques pour modéliser et simuler les émotions [36].

Ainsi pour une même propriété, il existe plusieurs types de données que ce soit quantitatives que qualitatives. Des mêmes données peuvent être exploitées pour différentes propriétés de l’activité humaine.

Toutefois, à notre connaissance, aucune source de donnée ne donne une vision sur l’équilibre entre les régularités et les variabilités de la propriété de l’activité individuelle. Par exemple, les enquêtes emploi du temps de l’INSEE ne donnent qu’un jour de semaine et qu’un jour de week-end au maximum par individu. Nous ne pouvons donc pas connaître les variabilités entre les différents jours de la semaine des individus.

Nous proposons donc une nouvelle approche couplant un nouveau modèle informatique et un nouveau recueil de données, permettant d’obtenir cet équilibre entre les régularités et les variabilités de l’activité.

## 4.3 Proposition d’une nouvelle approche

Ces notions de régularités et de variabilités au sein de l’activité impactent plusieurs propriétés à la fois : le couplage individu-environnement pour l’aspect spatial, mais aussi l’individu lui-même puisque son activité individuelle est concernée. De plus, malgré l’utilisation des données citées, ces limites ne sont pas dépassées.

Toutefois, nous avons mentionné la notion de déterminant

étant à la base des variabilités de l'activité. Nous faisons l'hypothèse que la prise en compte des déterminants de l'activité humaine rendrait la simulation de l'activité humaine plus réaliste en résolvant les limites associées à l'équilibre entre la routine et la variabilité. Nous proposons donc d'intégrer cette notion de déterminant dans les modèles informatiques.

Les systèmes multi-agents sont les modèles les plus adaptés, et nous proposons de repartir de ces modèles puisque notre tableau 1 nous montre qu'ils permettent de simuler de la manière la plus réaliste l'activité humaine.

Plus particulièrement, les simulations multi-agents participatives permettent un meilleur réalisme de la simulation de l'activité humaine. Nous pourrions donc repartir de cette approche afin de prendre en compte les déterminants.

Néanmoins la simulation participative est coûteuse en temps pour les participants. À long terme, il s'agirait d'avoir des agents logiciels. Dans ce cas, une idée serait d'utiliser un modèle hybride BDI-statistiques intégrant les déterminants de l'activité humaine, afin d'avoir des agents émotionnels calibrés avec des méthodes statistiques.

Les travaux décrits dans [40] et [30] proposent ce couplage hybride statistiques à base de règles, mais ils sont focalisés sur la simulation de dialogues. D'autres aspects de la simulation de l'activité humaine comme par exemple, le déplacement des agents dans leur environnement, ne sont pas visés.

La simulation participative aurait donc comme première utilité de récolter de nouvelles données qualitatives pour analyser les activités de vraies personnes, afin de nous aider à modéliser nos agents hybrides BDI-statistiques réactifs aux déterminants de l'activité humaine.

Un autre type de recueil de données est celui présenté dans [17], où une application mobile fait office de journal de bord. Un recueil de données qualitatives et quantitatives de ce type pourrait être directement adapté aux finalités d'un modèle informatique de l'activité.

## 5 Conclusion

Nous avons défini des propriétés de l'activité humaine sous le prisme de l'ergonomie. Puis nous avons présenté plusieurs types d'approches informatiques pour simuler l'activité humaine, ce qui nous a permis de conclure que les approches multi-agents sont les plus adaptées pour simuler les propriétés de l'activité humaine. Cependant aucune approche actuelle ne valide entièrement toutes les propriétés, de plus les régularités et variabilités de l'activité humaine ne sont pas simulées de la meilleure façon pour toutes les approches mentionnées.

En perspective, nous proposons donc de développer une nouvelle approche multi-agent hybride intégrant la prise en compte des déterminants de l'activité humaine et une nouvelle source de données.

## 6 Bibliographie

### Références

- [1] Fatima ABDALLAH, Shadi BASURRA et Mohamed Medhat GABER. "A Hybrid Agent-Based and Probabilistic Model for Fine-Grained Behavioural Energy Waste Simulation". en. In : *2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*. Boston, MA : IEEE, nov. 2017, p. 991-995.
- [2] Nicolas BECU. "Les courants d'influence et la pratique de la simulation participative : contours, design et contributions aux changements sociétaux et organisationnels dans les territoires". fr. In : (2020), p. 270.
- [3] Laurent VAN BELLEGHEM. "Faut-il repenser le « schéma à 5 carrés » pour analyser les besoins de convergence du travail contemporain ?" fr. In : *SELF* (2017), p. 5.
- [4] Matthew BERLAND et William RAND. "Participatory Simulation as a Tool for Agent-based Simulation". en. In : *Proceedings of the International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. Porto, Portugal : SciTePress - Science, 2009, p. 553-557.
- [5] Anaïs BERRY et al. "De la simulation à la simulation participative : apporter une vision intégrée de la rénovation urbaine aux aménageurs publics, à travers une démarche expérimentale : From simulation towards participatory simulation : providing an integrated vision to public planners of urban renewal, through an experimental approach". fr. In : *netcom* 34-1/2 (jan. 2020).
- [6] M BOURGAIS, P TAILLANDIER et Laurent VERCOUTER. "Cognition, émotions et relations sociales pour la simulation multi-agent". fr. In : *JFSMA* (juill. 2017).
- [7] Michael BRATMAN. *Intention, Plans, and Practical Reason*. Cambridge : Cambridge, MA : Harvard University Press. 1987.
- [8] Jean-Pierre BRIOT, Paul GUYOT et Marta IRVING. "Participatory Simulation for Collective Management of Protected Areas for Biodiversity Conservation and Social Inclusion". en. In : 2007, p. 6.
- [9] Giuseppina BUTTITTA et Donal P. FINN. "A high-temporal resolution residential building occupancy model to generate high-temporal resolution heating load profiles of occupancy-integrated archetypes". en. In : *Energy and Buildings* 206 (jan. 2020), p. 109577.
- [10] Béatrice CAHOUR et Alain LANCRY. "Émotions et activités professionnelles et quotidiennes :". fr. In : *Le travail humain* Vol. 74.2 (juin 2011), p. 97-106.



- [11] François DANIELLOU. “L’ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail”. In : *Ergonomie*. 2004, p. 359-373.
- [12] François DANIELLOU \* et Pierre RABARDEL. “Activity-oriented approaches to ergonomics : some traditions and communities”. en. In : *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 6.5 (sept. 2005), p. 353-357.
- [13] Françoise DARSEES et Maurice DE MONTMOLLIN. *L’ergonomie*. La Découverte. Repères. 2012.
- [14] Alexis DROGOUL et al. “Designing social simulation to (seriously) support decision-making : CO-MOKIT, an agent-based modelling toolkit to analyse and compare the impacts of public health interventions against COVID-19”. In : *Frontiers in Public Health* (2020).
- [15] Marc DURAND. “Theureau, J. Le cours d’action. L’enaction et l’expérience”. fr. In : *activites* 13.1 (mars 2016).
- [16] Marc DURAND. “Un programme de recherche technologique en formation des adultes : Une approche enactive de l’activité humaine et l’accompagnement de son apprentissage/développement”. fr. In : *éducationdidactique 2-3* (déc. 2008), p. 97-121.
- [17] Philipp GRÜNEWALD et al. “What we do matters – a time-use app to capture energy relevant activities”. en. In : *ECEEE Summer Study Proceedings* (2017), p. 9.
- [18] Julien GUIBOURDENCHE et al. “Analyse de contextes d’activité domestique pour la conception de systèmes diffus énergétiquement efficaces”. fr. In : *activites* 12.1 (avr. 2015).
- [19] Paul GUYOT. “Simulations multi-agents participatives : Faire interagir agents et humains pour explorer, modéliser et reproduire les comportements collectifs”. fr. Thèse de doct. 2006.
- [20] Jürgen HACKL et Thibaut DUBERNET. “Epidemic Spreading in Urban Areas Using Agent-Based Transportation Models”. en. In : *Future Internet* 11.4 (avr. 2019), p. 92.
- [21] Gabriel HAPPLE, Jimeno A. FONSECA et Arno SCHLUETER. “A review on occupant behavior in urban building energy models”. en. In : *Energy and Buildings* 174 (sept. 2018), p. 276-292.
- [22] Yvon HARADJI. “Multi-agent simulation of human activity : a concretization in ergonomics of the technological “course of action” research program”. en. In : *activites* 18-1 (avr. 2021).
- [23] Yvon HARADJI. “Simulation multi-agent de l’activité humaine : une concrétisation en ergonomie du programme de recherche technologique « cours d’action »”. fr. In : *activites* 18-1 (avr. 2021).
- [24] Yvon HARADJI et al. “De la modélisation de l’activité humaine à la modélisation pour la simulation sociale : entre réalisme et fécondité technologique”. fr. In : *activites* 15.1 (avr. 2018).
- [25] François HUBAULT. “A quoi sert l’analyse de l’activité en ergonomie ?” fr. In : (1995), p. 14.
- [26] Hong JIANG, Jose M. VIDAL et Michael N. HUHNS. “EBDI : an architecture for emotional agents”. en. In : *Proceedings of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*. Honolulu Hawaii : ACM, mai 2007, p. 1-3.
- [27] Rory V. JONES et al. “Stochastic behavioural models of occupants’ main bedroom window operation for UK residential buildings”. en. In : *Building and Environment* 118 (juin 2017), p. 144-158.
- [28] Christophe LE PAGE. “Simulation multi-agent interactive : engager des populations locales dans la modélisation des socio-écosystèmes pour stimuler l’apprentissage social”. In : (2017).
- [29] Yuanmeng LI, Yohei YAMAGUCHI et Yoshiyuki SHIMODA. “Impact of the pre-simulation process of occupant behaviour modelling for residential energy demand simulations”. en. In : *Journal of Building Performance Simulation* 15.3 (mai 2022), p. 287-306.
- [30] Bing LIU et al. *Dialogue Learning with Human Teaching and Feedback in End-to-End Trainable Task-Oriented Dialogue Systems*. en. arXiv :1804.06512 [cs]. Avr. 2018.
- [31] Diba MALEKPOUR KOUPEAEI, Kristen S. CETIN et Ulrike PASSE. “Stochastic residential occupancy schedules based on the American Time-Use Survey”. en. In : *Science and Technology for the Built Environment* 28.6 (juill. 2022), p. 776-790.
- [32] Jeetika MALIK et al. “Ten questions concerning agent-based modeling of occupant behavior for energy and environmental performance of buildings”. en. In : *Building and Environment* 217 (juin 2022), p. 109016.
- [33] Qing-mei MENG et Wei-guo WU. “Artificial emotional model based on finite state machine”. en. In : *J. Cent. South Univ. Technol.* 15.5 (oct. 2008), p. 694-699.
- [34] Farid MIRAHADI, Brenda MCCABE et Arash SHAHI. “IFC-centric performance-based evaluation of building evacuations using fire dynamics simulation and agent-based modeling”. en. In : *Automation in Construction* 101 (mai 2019), p. 1-16.
- [35] Fernanda P. MOTA et al. “A persuasive multi-agent simulator to improve electrical energy consumption”. en. In : *Journal of Simulation* 17.1 (jan. 2023), p. 17-31.

- [36] Magalie OCHS et al. “Vers des Agents Conversationnels Animés dotés d’émotions et d’attitudes sociales”. fr. In : *Journal d’Interaction Personne-Système* Volume 3, Issue 2, Special...Special Issue "the best..." (Sept. 2015), p. 1282.
- [37] Isaac PINYOL et Jordi SABATER-MIR. “Computational trust and reputation models for open multi-agent systems : a review”. en. In : *Artif Intell Rev* 40.1 (juin 2013), p. 1-25.
- [38] Quentin REYNAUD et al. “Using Time Use Surveys in Multi Agent based Simulations of Human Activity :” en. In : *Proceedings of the 9th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. Porto, Portugal : SCITEPRESS - Science et Technology Publications, 2017, p. 67-77.
- [39] Nadine B. SARTER, Randall J. MUMAW et Christopher D. WICKENS. “Pilots’ Monitoring Strategies and Performance on Automated Flight Decks : An Empirical Study Combining Behavioral and Eye-Tracking Data”. en. In : *Hum Factors* 49.3 (juin 2007), p. 347-357.
- [40] Jost SCHATZMANN et al. “Agenda-based user simulation for bootstrapping a POMDP dialogue system”. en. In : *Human Language Technologies 2007 : The Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics ; Companion Volume, Short Papers on XX - NAACL ’07*. Rochester, New York : Association for Computational Linguistics, 2007, p. 149-152.
- [41] Mathieu SCHUMANN et al. “Multi-Agent based simulation of human activity for building and urban scale assessment of residential load curves and energy use”. en. In : *2021 Building Simulation Conference* (sept. 2021).
- [42] Mohammad SHANAA et Sherief ABDALLAH. “Agent-based simulation for COVID-19 outbreak within a semi-closed environment”. In : *2020 First International Conference of Smart Systems and Emerging Technologies (SMARTTECH)*. Riyadh, Saudi Arabia : IEEE, nov. 2020, p. 231-236.
- [43] Patrick TAILLANDIER et al. “Des données géographiques à la simulation à base d’agents : application de la plate-forme GAMA”. fr. In : *cybergeo* (mars 2014).
- [44] Agnieszka TRUSZKOWSKA et al. “High-Resolution Agent-Based Modeling of COVID-19 Spreading in a Small Town”. en. In : *Adv. Theory Simul.* 4.3 (mars 2021), p. 2000277.
- [45] Giuseppe VIZZARI, Luca CROCIANI et Stefania BANDINI. “An agent-based model for plausible way-finding in pedestrian simulation”. en. In : *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 87 (jan. 2020), p. 103241.
- [46] Janusz WOJTUSIAK, Tobias WARDEN et Otthein HERZOG. “Machine learning in agent-based stochastic simulation : Inferential theory and evaluation in transportation logistics”. en. In : *Computers & Mathematics with Applications* 64.12 (déc. 2012), p. 3658-3665.
- [47] Da YAN et al. “Occupant behavior modeling for building performance simulation : Current state and future challenges”. en. In : *Energy and Buildings* 107 (nov. 2015), p. 264-278.
- [48] Dong-mei YU et al. “Homogeneous Markov Chain for Modeling Emotional Interactions”. en. In : *2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology*. ISSN : 1738-9445. Gangwon-Do, South Korea : IEEE, fév. 2008, p. 265-269.