



**HAL**  
open science

# **CORHA: Architecture multi-agent pour la collaboration Utilisateurs-Objets connectés dans une tâche en domotique**

A Audic, Lauren Thévin

► **To cite this version:**

A Audic, Lauren Thévin. CORHA: Architecture multi-agent pour la collaboration Utilisateurs-Objets connectés dans une tâche en domotique. RJCIA'21 (Rencontres Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle), Jul 2021, Bordeaux (virtuel), France. hal-03278576

**HAL Id: hal-03278576**

**<https://hal.science/hal-03278576>**

Submitted on 5 Jul 2021

**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.

# CORHA: Architecture multi-agent pour la collaboration Utilisateurs-Objets connectés dans une tâche en domotique

A. Audic<sup>1</sup>, L. Thevin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fondation Université Bretagne Sud, Chaire M@D "Maintien à Domicile"

<sup>2</sup> Université Catholique de l'Ouest, équipe MAI

al.audic.a@gmail.com, lauren.thevin@uco.fr

## Résumé

Les systèmes domotiques sont décentralisés et permettent idéalement des interactions riches et flexibles (dispositifs techniques et utilisateurs). Dans ce cadre, nous nous intéressons à la manière de coordonner à un ensemble varié de (i) **dispositifs** (inputs, outputs) (ii) **utilisateurs** (préférences d'interaction), et (iii) **tâches** soutenues par le système interactif. En étudiant la littérature scientifique, les systèmes multi-agents ont été proposés pour coordonner l'interaction objets-utilisateurs. Peu de systèmes explicitent la coordination de la tâche réalisée entre l'utilisateur et le système informatique. L'architecture multi-agent CORAH, reprend les modèles OrA et JaCaMo pour la collaboration (multi-utilisateur, accessibilité, objets autonomes).

## Mots-clés

SMA, IHM, domotique, collaboration, accessibilité.

## Abstract

Smart home systems are distributed and (ideally) enable rich and flexible interaction (devices and users). The challenge is to coordinate diverse (1) devices (inputs and outputs), (2) users' usage and (3) tasks supported by the system. We found multiple work about devices coordination, and interaction with the users. However, we found few publications about managing the task regarding to the users and the devices. The multi-agent architecture CORAH, from OrA and JaCaMo frameworks, enables collaboration (multi-user, accessibility and autonom objects).

## Keywords

MAS, HCI, domotics, collaboration, accessibility.

## 1 Introduction

Dans le cadre domestique, le nombre d'objets connectés (IoT) et de dispositifs de domotique continuent d'augmenter [1] (dans le monde : 3.6 milliards en 2015, 13.8 milliards en 2021<sup>1</sup>). Outre l'accès pour les profils technophiles (e.g. *early adopters*), ces dispositifs devraient être accessibles au plus grand nombre. Cela garantit d'une égalité d'accès à

la technologie, l'illectronisme concernant 17% de la population en France en 2019 selon l'Insee [22]. De plus, les technologies d'assistance et de maintien à domicile constituent des champs d'application pour l'IoT et la domotique (e.g. [3, 5, 19]), considérant qu'une personne sur sept était en situation de handicap en 2011 [29]. On observe qu'une grande complexité peut naître de la **diversité des objets connectés** (inputs, outputs, équipements) et de la **diversité des utilisateurs** (préférences, accessibilité, personnes présentes). L'intelligence artificielle (IA) et, en particulier, les Systèmes Multi-Agent (SMA) semblent adaptés pour répondre à ces problématiques [9]. Nous proposons d'exploiter une architecture orientée multi-agent JaCaMo[4], indiquée pour la coordination complexe et robuste de composants modulaires [9]. Nous incluons les utilisateurs comme des Agents du SMA [33], car ils réalisent des tâches domotiques au même titre que les objets connectés et autonomes. Un SMA pour le cadre domotique s'explique par : (i) la présence de réseaux d'objets connectés et d'utilisateurs, disparaissant et apparaissant, (ii) la vision parcellaire et la distribution des tâches (agents humains et artificiels). Nous évoquons en discussion la complémentarité d'autres IA.

Dans l'état de l'art, les SMA sont proposés comme solution pour organiser des systèmes d'objets connectés décentralisés (section 2.1), et prendre en compte les utilisateurs (section 2.2). En conséquence, nos contributions sont (fig.1) :

- l'analyse d'un SMA pour la domotique **sous l'angle d'une collaboration humains-machines autour de tâches**, en plus de gérer le cycle de communication humains-machines (perception, action).
- **une proposition préliminaire d'une architecture multi-agent** adaptée du modèle OrA. Quelque soit la tâche, la perception des utilisateurs par les dispositifs techniques s'organise en espace de *production*, la perception des retours informés par les utilisateurs s'organise en espace de *communication*. La répartition des tâches entre humains et dispositifs techniques s'organise en espace de *coordination*,
- **trois scénarios illustratifs de collaboration autour des tâches domotiques**.

1. Source : statista le 26 février 2021 <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>

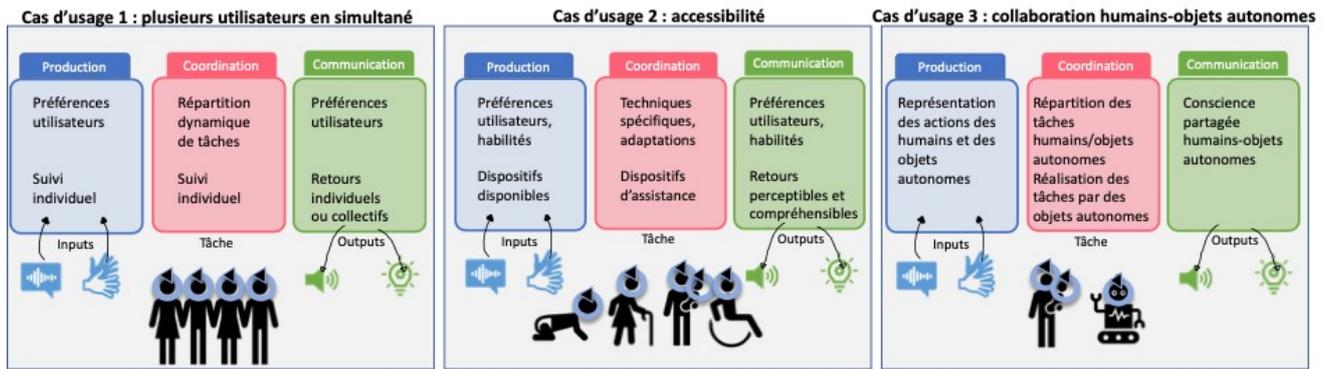


FIGURE 1 – SMA JaCaMo (dimensions VOWELS non représentées) selon trois espaces issus des collecticiels (production, coordination et communication) pour organiser la collaboration en domotique. Cas d’usages illustratifs : 1) utilisateurs présents collaborant ou non sur une tâche de cuisine, 2) prise en compte de stratégies d’accessibilité spécifiques pour les inputs, les outputs et la tâche et 3) collaboration humains-objets autonomes pour la réalisation conjointes de tâches.

## 2 Etat de l’art

Les dispositifs domotiques lèvent plusieurs difficultés en internet des objets (IoT), en interaction humain-machine (IHM) et en intelligence ambiante (AmI), pour l’adaptation (i) à la diversité des dispositifs [2], (ii) au caractère hétérogène des utilisateurs en limitant les technologies d’assistance mono-personnelles (risque d’isolement dans l’utilisation) [5], et (iii) aux défis pour créer un «*milieu ayant la faculté de percevoir, de raisonner, d’agir et d’interagir afin de fournir des services améliorant la qualité de vie*» [8]. Nous abordons dans cette section comment les SMA y répondent.

### 2.1 Utilisation des SMA pour organiser des systèmes décentralisés en IoT

Les SMA sont exploités pour organiser des systèmes décentralisés, notamment pour l’IoT et la domotique. Charif et Sabouret [7] composent un système de services domotiques en se reposant sur des protocoles d’interaction multi-agents avec le modèle de programmation VDL (View Design Language). Cela permet de raisonner, sous forme de requêtes formalisées, sur des services Agents-Agents [7]. Les agents répondent individuellement à un ensemble de requêtes pour réaliser tout ou partie d’une tâche. Les agents peuvent collaborer entre eux ou prendre des initiatives dans la création de fonctionnalités [7]. Un des avantages de ce système de requêtes est l’intelligibilité de celles-ci pour un utilisateur humain. De manière générale, les SMA amènent une puissance de calcul et de représentation, au service d’une vision d’ensemble de l’utilisation d’objets interactifs [18]. Cela gère l’activité d’une série d’objets virtuels et numériques qui peuvent apparaître ou disparaître à la volée [18]. Ce principe a été appliqué à la détection, au suivi et à la mise en place d’interactivité pour des objets tangibles dans le projet TTT. Les objets connectés tangibles sont tracés de manière unique (présence et localisation) en temps réel grâce à un tag RFID, et peuvent stocker des informations. La couche applicative est composée d’un SMA intégrant une vue globale des objets présents, gérant la détection d’objets et l’af-

fichage de retours virtuels. Ce SMA organise hiérarchiquement et dynamiquement les objets interactifs entre eux et dans leur environnement [18]. L’interaction centrée objet permet paradoxalement de créer une interaction collaborative et multi-utilisateur. En domotique, la réorganisation des composants est également un challenge étudié par Hamoui *et al.*[15]. Dans leurs travaux, les auteurs proposent de contrôler un environnement domotique par un SMA. Les agents contrôlent les équipements de l’environnement et les services afin d’exécuter des scénarios définis par les utilisateurs, dans le but de satisfaire leurs besoins [15]. Ce SMA modifie son architecture pour déployer des composants et des scénarios utilisateurs [15]. Dans ce cadre [14], quatre propriétés sont identifiées pour un système domotique organisant des composants intelligents et des scénarios [17, 27] :

- **configurable** : pour définir des scénarios.
- **décentralisé** : pour être fiable en évitant les pannes et optimisant la performance du système.
- **autonome** : limiter le travail de configuration par l’utilisateur au moment du paramétrage initial.
- **dynamique** : selon changements d’environnement.

Ce système se structure autour de deux types d’agents : les agents «*responsables de l’interaction avec les utilisateurs*» GUIA (Graphical User Interface Agent) et les agents «*de contrôle des équipements*» DCA (Device Control Agent) qui font le lien entre l’environnement et les scénarios [14]. En plus de faire fonctionner différents composants entre eux, les SMA permettent une optimisation de l’utilisation des objets connectés. Martins *et al.* [23] présentent un modèle de maison intelligente contribuant à l’amélioration de la consommation et la distribution énergétique dans un foyer tout en maintenant le confort de l’habitat. Les agents autonomes individuels contrôlent les appareils au sein du foyer et un agent global coordonne des agents individuels selon un compteur d’énergie. Le modèle proposé utilise la plateforme JaCaMo pour la programmation multi-agent :

- **organisation Moise** avec spécifications structurales (e.g. rôles), fonctionnelles (e.g. plans), et normatives (e.g. obligations contextuelles)

- **agents autonomes BDI** (Belief-Desir-Intention) implémentés en **Jason**
- **environnement** basé sur des artefacts en **CARtAgO**
- **interactions** entre ces éléments

L'organisation générale est gérée au niveau Moise, y compris la hiérarchisation des objectifs de confort et d'économie. Les appareils sont gérés individuellement par des agents Jason en lien avec leurs objectifs énergétiques. Deux types d'artefacts CARtAgO permettent de définir l'environnement en termes (i) de consommation énergétique globale, (ii) selon les cycles horaires. Les SMA permettent d'optimiser un système domotique selon les critères des utilisateurs (préférences) en fonction de l'architecture particulière du système domotique (opportunisme) [10]. L'application d'agents cognitifs de Dujardin *et al.* optimisent et contrebalancent ces valeurs d'opportunisme et de préférence pour chaque action possible d'un système domotique selon des critères. La préférence «écologie» favorisera l'extinction d'appareils [10]. Ce SMA peut également suggérer des actions à l'utilisateur [10] en explicitant la raison. Une alternative d'optimisation porte sur le diagnostic [25] et l'organisation du réseau lui-même [31]. Les SMA peuvent être résiliants jusqu'à la panne ou déconnexion de  $k$  objets physiques [31]. Cela implique : (1) de détecter les composants physiques ne fonctionnant pas, (2) d'identifier les opérations numériques qui étaient prises en charge par ces composants, (3) de répliquer ces opérations numériques, et (4) de les relocaliser au niveau d'un noeud du réseau (i.e. un composant encore fonctionnel dans le réseau IoT), en optimisant les communications nécessaires (*load*) [31]. En résumé, on peut faire «migrer», en cas de panne, les opérations numériques de manière optimisée sur le réseau physique. Les objets connectés ont une dimension «réelle» (ce sont de vrais objets) et une dimension numérique qu'il faut articuler entre elles (niveau objet puis niveau réseau). Schmitt *et al.* [32] explorent ces logiques d'interaction de deux manières dans la plateforme Triskell3S : en répondant aux problématiques d'interaction entre un agent (appelé IoT-a) et un objet connecté, et en étudiant l'exploitation de données hétérogènes et distribuées entre les objets grâce à un SMA. Les interactions du SMA sont affichées sur un mur écran : interactions au niveau des données (agents d'interface), du matériel (IoT-a), des usages (agents humains), et entre ces niveaux [32]. Les retours écrans et les agents IoT-a augmentent l'interaction utilisateur et l'optimisation, aux deux niveaux : objets et réseau.

En étudiant les SMA dédiés à l'organisation de systèmes décentralisés, nous avons pu noter leur utilisation pour :

- le suivi de la présence ou non d'objets interactifs.
- la réorganisation dynamique (hétérogénéité, suppression et ajout) des composants selon des scénarios.
- l'optimisation de la performance d'un réseau d'objets connectés (ex : consommation).
- l'optimisation de l'organisation distribuée d'objets connectés entre eux, e.g. couplé au diagnostic.
- l'articulation des dimensions «réelle» et «numérique» des objets connectés.

## 2.2 Utilisation des SMA pour prendre en compte les utilisateurs en domotique

En domotique, un enjeu important est l'intégration de l'activité des habitants [12]. Cela passe par l'identification et le suivi automatique des activités, et par l'adaptation aux habitudes et préférences des habitants, à la dynamique de l'environnement, aux sources de perception ainsi qu'à leurs changements [12, 2]. Le système *Smart Kitchen* [3] organise des composants domotiques grâce à un ensemble de règles et de scénarios d'utilisation. Il est alors possible de faire la même action via une télécommande, une tablette ou interface vocale. Cela peut être étendu ou modifié en ajoutant de nouveaux composants et leurs règles associées, et de nouveaux scénarios [3]. *Smart Kitchen* stocke dans une base de données les traces de l'utilisation du système par l'utilisateur (interaction contextuelle). En comparant l'évolution de ces données dans le temps (e.g l'heure d'utilisation d'un frigo ou la fréquence d'utilisation de la machine à laver), il est possible d'extraire un contexte utilisateur (insomnie, activités domestiques) [3]. Ces données sont transmises à des intervenants (soignants par exemple). L'organisation des composants domotiques évolue selon ce principe.

La sensibilité au contexte est un élément important dans la mise en place de services interactifs (au sens IHM) «adaptatifs» aux habitudes, aux activités, et à l'environnement dans les environnements intelligents [2], par exemple en s'auto-configurant. Benazzouz [2] spécifie les termes d'*adaptation* comme la personnalisation et la recommandation tandis que l'*adaptation automatique* se distingue par l'analyse du contexte et de l'environnement de l'utilisateur [2]. Le système proposé, découvre et suit des situations en analysant des «données de contexte» [2]. L'analyse algorithmique identifie les situations qui se répètent afin de définir des contextes (habitudes). Par ailleurs, la localisation des habitants est primordiale pour la mise en place d'une interaction contextuelle multi-utilisateurs [13]. Giroux *et al.* offrent ces fonctionnalités avec une architecture multi-agent utilisant des normes Moise. Les agents de localisation se basent sur un système bayésien (Domino librairie Dynamo [30]) pour la reconnaissance d'une suite d'événements et de la présence d'individus spécifiques. Un système de négociation attribue chaque événement à un agent [13]. Des agents d'environnement sont associés à chaque objet et gèrent les interfaces utilisateurs. Un agent personnel est associé à chaque individu, et intègre son profil, ses activités et ses préférences. Ce profil est transmis aux agents d'environnement proches. Des notions de priorité et d'urgence gèrent les injonctions paradoxales (e.g. avec plusieurs utilisateurs actifs) [13]. Sur le même principe, le système ICEMAS permet la collaboration de multiples utilisateurs, pour «l'amélioration de la vie quotidienne des personnes atteintes de déficiences cognitives» ayant besoin d'une assistance ponctuelle [5]. L'objectif est de «personnaliser» l'habitat en fonction des besoins, de l'assister selon son profil et la présence d'autres utilisateurs, en maintenant une discrétion et une automatisation optimale [5]. Les conflits entre individus sont réglés en comparant préférences et priorités,

e.g. en favorisant la personne avec le plus haut niveau d'assistance à un instant donné [5]. La particularité de ce système réside dans la prise en compte des contraintes de gestion globales et individuelles. Par exemple, un son fort la nuit (règle globale) déclenchera des actions hors du simple cadre de l'assistance (règle individuelle)[5]. Kuijpers [19] propose un SMA appliquant des règles de sécurité personnalisées selon le profil médical de l'utilisateur. Le système est structuré par des agents fonctionnant sur le modèle BDI. Des *DeviceAgents* coordonnent les appareils de cuisine et récupèrent des informations par le biais des agents de données (capteurs), selon trois granularités : un *DeviceAgent* par équipement, un pour chaque fonctionnalité de chaque équipement, et un pour coordonner l'ensemble des équipements. Si un *DeviceAgent* détecte un changement d'activité, il communique avec les *RiskAgents* (agents chargés des risques), enregistre un changement d'état et une trace d'activité dans un fichier log. Le *UserAgent* identifie les utilisateurs dans l'environnement, charge les profils, déverrouille les appareils de cuisine en fonction de l'autorisation et transmet ces profils aux *RiskAgents*. Un agent *WatchdogAgent* verrouille les équipements en cas de danger et agit directement sur le matériel en cas de contexte critique. Le système présenté ici (StoveMAS) utilise la plateforme JADE et suit les agents via une interface visuelle sur Android. Toujours sur JADE et proposé par Kuijpers, PADIS adapte les services aux utilisateurs selon leur handicap [20] via le dossier médical rédigé par le médecin (niveau d'assistance et services disponibles), les préférences de l'utilisateur (confort et habitude de vie), le contexte (e.g. heure de la journée). Un système de boucle MAPE-K (monitor, analyze, plan, execute - knowledge) permet de vérifier les services correctement exécutés. La gestion est dite autonome selon quatre concepts : (i) auto-configuration d'appareils lors de leur intégration au système domotique, via des agents BDI, (ii) auto-optimisation de paramètres, (iii) auto-réparation en isolant les services lors d'une défaillance durant la réparation, et (iv) auto-protection, c'est à dire l'autonomie dans la protection contre les dangers externes[20]. Les agents, structurés en groupes représentant les pièces de l'habitat, ont des buts différents. Les agents migrent entre les groupes pour garantir la continuité d'un service. Ce SMA se connecte sur un serveur, une base de données et une application mobile en guise d'interface[20]. La base de données crée une image du contexte des appareils répartis dans l'environnement. Les données des capteurs des dispositifs mobiles connectés sont mises à jour dans la base de données. L'interface propose les services des agents en fonction de la personne et de l'emplacement. Des conflits surviennent notamment lorsque plusieurs utilisateurs se trouvent dans la même pièce[20]. Les SMA étudiés soutiennent l'IHM à travers différents contextes :

- réaliser une même action par plusieurs moyens
- suivre les habitudes de vie (et changements) au travers des traces d'activité des utilisateurs
- identifier des utilisateurs concernés (localisation)
- prendre en compte plusieurs utilisateurs
- déployer des services d'accessibilité, d'assistance.

## 3 Approche

### 3.1 Problématique

Nous tentons de répondre à la question suivante : *Quelles sont les exigences auxquelles doit répondre un système dédié à l'organisation d'objets connectés dans un contexte domotique ?* Dans un premier temps, nous identifions les verrous adressés dans la littérature, et indispensable à la bonne gestion d'une application domotique :

1. **coordination et réorganisation à la volée des modalités d'interaction en fonction des objets connectés.** Un système domotique cohérent doit se ré-organiser, avec deux impacts majeurs : (i) les moyens de percevoir les utilisateurs, et (ii) les moyens de fournir des retours informés aux utilisateurs (selon les dispositifs disponibles)
2. **coordination et réorganisation à la volée des modalités d'interaction en fonction des utilisateurs présents.** Un système domotique cohérent doit se ré-organiser en termes de préférences et d'accessibilité, avec deux impacts majeurs : (i) les moyens d'interagir avec les dispositifs, et (ii) les moyens de fournir des retours informés en fonction des utilisateurs (selon les utilisateurs présents)

Si l'on se penche sur la définition des termes *coordination* et *collaboration*, nous pouvons mettre en lumière la place centrale de la planification et de la répartition des actions entre les personnes/agents participants [34]. En *coordination*, les tâches sont réparties en avance entre les membres impliqués, alors que la *collaboration* se caractérise par une répartition dynamique des tâches selon les actions en cours [34]. Nous ajoutons donc cette troisième exigence :

3. **la coordination et la réorganisation à la volée des tâches et de la répartition des tâches à réaliser.** L'utilisation d'un système domotique par un utilisateur se fait dans un but donné, autrement dit pour réaliser une tâche. Un système domotique doit pouvoir ré-organiser la tâche en fonction des utilisateurs et des dispositifs présents : prise en charge une partie des activités (automatisation), réorganisation intra et inter-personnelle de la tâche.

Nous avons identifié plusieurs cas d'usages mettant en oeuvre la prise en compte de la tâche dans un cadre domotique : (i) s'adapter à plusieurs utilisateurs en simultanément, (ii) s'adapter à différents utilisateurs dans le cadre de l'accessibilité, et (iii) prendre en compte les objets autonomes dans la réalisation de tâches en domotique. Nous présentons, section suivante, l'adaptation du modèle OrA[33] pour la coordination humains-machines en domotique.

## 4 Proposition préliminaire

### 4.1 Programmation orienté multi-agent pour la coordination et la collaboration

Nous l'avons vu précédemment, la programmation orientée multi-agent VOWELS [9] indiquée pour la coordination de composants modulaires définit un SMA selon les

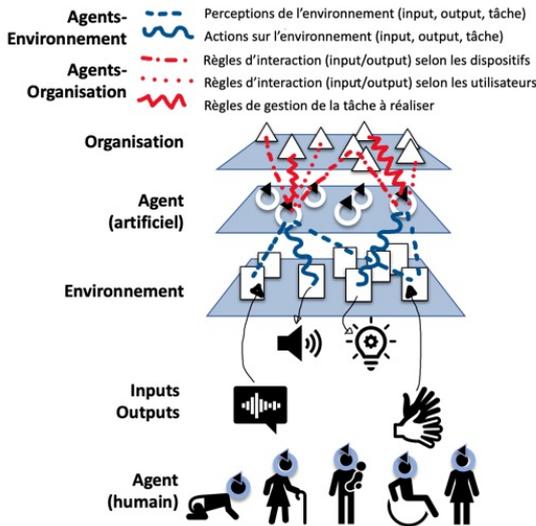


FIGURE 2 – Environnement CArAgO : les agents humains interagissent (input); les Agents Jason perçoivent puis mettent en oeuvre des retours informés perceptibles par les utilisateurs (output). Agents Jason : perçoivent, analysent et génèrent ces informations. Organisation Moise : gestion des différents objets (input, output), des tâches en cours et des utilisateurs. L'architecture s'organisera en trois espaces.

niveaux <A,E,I,O (,U)>, pour Agent, Environnement, Interaction et Organisation; dans certains cas, le U est ajouté pour les Utilisateurs. JaCaMo implémente ces différents niveaux, qui permettent d'utiliser différents mécanismes directs et indirects de collaboration et de coordination [4]. Les Agents Jason peuvent interagir entre eux, via l'Environnement représenté à travers des artefacts CArAgO, ou via des organisations normatives Moise, le tout s'organisant autour d'Interactions (figure 2). JaCaMo a été appliqué à l'IHM et à la collaboration dans le modèle OrA [33]. Dans OrA, l'Environnement permet de suivre l'activité en cours en créant des traces d'activité. Les Agents analysent et organisent les modalités d'interaction et de retours informés, et permettent par ailleurs le suivi des actions coordonnées des utilisateurs. Les Organisations permettent aux agents d'adopter des rôles afin de suivre des règles d'interaction, de mettre en place des retours informés et de représenter l'activité collaborative [33]. Dans ce modèle, les Humains sont considérés comme des Agents, même s'ils n'appartiennent pas au système technique, *a contrario* des agents Jason. En particulier, dans le cadre domotique, les agents, qu'ils soient des utilisateurs ou des objets connectés, réalisent une partie des tâches. Le fait de représenter les agents (artificiels et humains) distincts de l'organisation Moise permet la répartition dynamique (spécifications normatives) des tâches représentées dans l'organisation (spécifications fonctionnelles). Les tâches sont déclarées sous forme de sous-butts dans la spécification fonctionnelle Moise, indépendamment des agents. Les agents (humains et artificiels) s'attribuent ces sous-butts à la volée et au fur et à mesure

de l'évolution de l'activité et de leurs rôles (figure 4, agents 1,2 et 3). Si un agent disparaît, ces sous-butts sont "libérés" dans l'organisation, et peuvent être ré-attribués. Tout nouvel agent (artificiel ou humain) peut prendre en charge un des sous-butts. Cette vision permet d'intégrer les objets connectés et autonomes comme des acteurs dans les tâches, au même titre que les utilisateurs, et répond partiellement à l'exigence 3 section 3.1. Cependant, l'organisation VOWELS ne permet pas à elle seule de gérer la complexité des échanges Humains-Machines (inputs, outputs et tâche).

## 4.2 COrAH : Adaptation du modèle OrA

Pour répondre aux exigences de la section 3.1, le SMA s'organise en trois espaces ayant tous la structure VOWELS présentée précédemment : production, coordination et communication. Ces espaces sont issus des modèles de collecticiels Clover [21] et SMA OrA déjà évoqué [33].

Les espaces s'articulent selon le cycle utilisateur (figure 3). L'espace de Production permet à l'utilisateur d'interagir avec le système (exigence 1.i et 2.i section 3.1). L'espace de Communication permet au système d'interagir avec l'utilisateur via des retours informés (exigence 1.ii et 2.ii section 3.1). Entre les deux, l'espace de Coordination est dédié à la tâche attribuée aux agents utilisateurs ou aux agents du système technique (troisième exigence section 3.1). Les appellations peuvent être questionnées (e.g. *production*, et non pas *perception*). Ces appellations respectent la syntaxe du modèle OrA, et Clover. De plus, l'espace de production concerne l'espace de *perception* des agents humains par les agents artificiels; l'espace de communication est l'espace de *perception* des agents artificiels par les agents humains. L'architecture SMA présentée, nommée COrAH (Collaboration d'Organisations Artificielles et Humaines) comporte plusieurs différences avec le modèle OrA originel. En espace de collaboration OrA, les agents sont des agents "mimes" intégrant et exécutant dans un scénario virtuel la tâche demandée par les humains. Par exemple, l'agent *Maire(sse) virtuel* réalisait une *évacuation virtuelle* lorsque l'utilisateur *Maire(esse)* demandait une *évacuation* dans le jeu de rôle interactif. Ici, les agents et les humains se distribuent et réalisent les tâches en espace de Collaboration. En résumé, dans COrAH, les agents artificiels et humains copèrent via le système. Le lien entre les différents espaces est assuré par la création d'artefacts : la fin de l'activité en production initie une activité en coordination avec un nouvel artefact de coordination créé par un agent de production en espace de coordination (voir [33], p102). Le mécanisme est identique de la coordination vers la communication.

## 4.3 Scenarios d'illustration en Domotique

Nous illustrons l'utilisation de l'architecture COrAH dans trois scénarios, avec l'apport de la troisième exigence *représentation de la tâche* (coordination), en plus des inputs (production) et des outputs (communication).

**Plusieurs utilisateurs en simultané.** Le premier scénario (figures 1 gauche et 4 haut) présente le fonctionnement de COrAH dans un contexte multi-utilisateurs. Deux agents humains H1 et H2 collaboreront sur la même recette et un

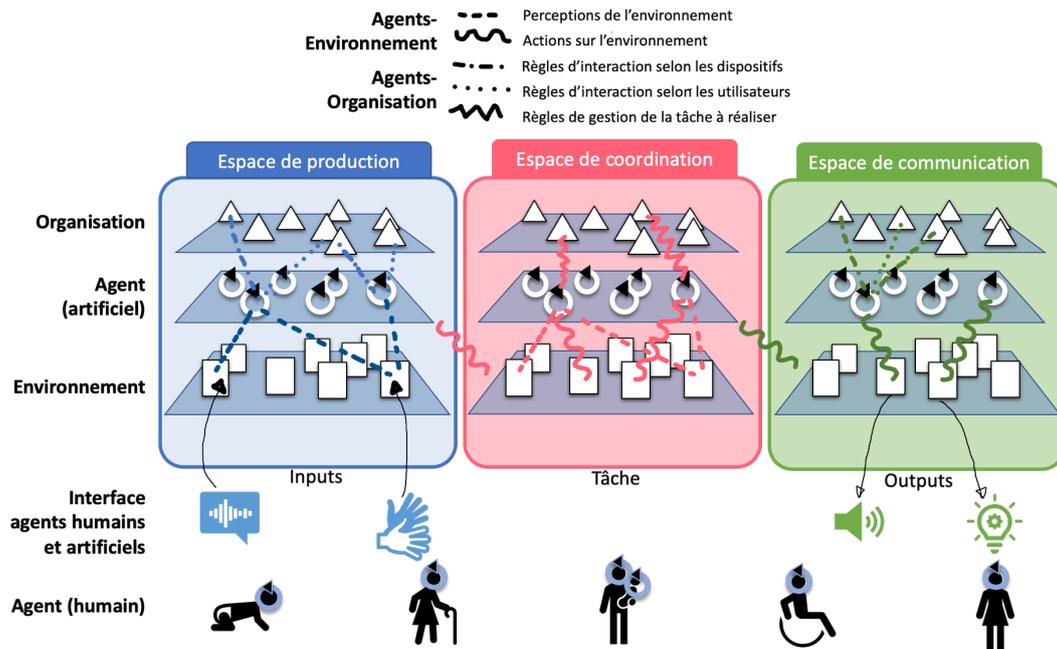


FIGURE 3 – Architecture CORHA : SMA VOWELS présentée est organisée en 3 espaces : production (input), coordination (tâche), et communication (output). **Espace de production** : les inputs utilisateurs, des artefacts dans l'Environnement, sont analysés en fonction des dispositifs disponibles et des utilisateurs. Pour cela, les Agents utilisent les Organisations normatives dédiées. Une action de coordination (artefact) est créée. **Espace de coordination** : ces artefacts dans l'Environnement (actions utilisateurs), sont analysés en termes de tâches à réaliser. Pour cela, les Agents utilisent les Organisations de coordination pour répartir et suivre les tâches. Une action de communication (output) est créée. **Espace de communication** : les retours informés à donner, représentés sous forme d'artefacts dans l'Environnement, sont générés selon les dispositifs et utilisateurs destinataires. Pour cela, les Agents utilisent les règles dans les Organisations de communication pour générer les outputs appropriés. Les outputs sont mis en oeuvre dans l'environnement.

troisième H3 fait une autre activité de nettoyage. **Étape 1** : H1 suit une recette, les buts du plan Moise *Recette* (Coordination) lui sont attribués. H3 est un intégré à un plan de nettoyage *Ménage*. **Étape 2** : H2 s'inclut dans la tâche de cuisine. Les buts du plan *Recette* en Coordination sont redistribués entre H1 et H2. Prioritairement, les tâches en cours restent attribuées à H1, et les buts parallèles sont répartis entre H1 et H2 pour limiter les interdépendances. H3 ne note pas de changement.

**Accessibilité.** Ce second scénario (figures 1 centre et 4 haut et bas) présente des adaptations en Coordination pour l'accessibilité via deux mécanismes : l'adaptation de plans Moise, et l'intégration des outils d'assistance. Suite au scénario 1, il se trouve que H2 a des déficiences visuelles et met en oeuvre des stratégies particulières dites d'AVJ (autonomie de la vie journalière). Par exemple H2 organise spatialement un plan de travail avant de commencer une recette. **Étape 1** : le but "Blancs en neige" de H2 active le plan "Blancs en neige A" (figure 4), intégrant les techniques d'AVJ. Le plan "Blanc en neige B" aurait été utilisé par H1 sur cette même tâche. **Étape 2** : Une technologie d'assistance peut réaliser une partie des tâches. Un agent artificiel A4 surveille la cuisson (cf scénario suivant). Ici, le système active en coordination des stratégies d'AVJ, puis collabore avec l'utilisateur en réalisant une partie des

tâches de la recette (surveillance optique de la cuisson). Afin d'adapter le système au contexte utilisateur, l'accessibilité pour les déficiences visuelles est optimisée via les modalités d'interaction cohérentes en Production (interaction vocale par exemple) et en Communication (réglage de l'écran, son spatialisé, description adaptée).

**Coordination entre agents humains et objets autonomes**  
Ce troisième scénario (figures 1 centre et 4 haut) présente la prise en charge de buts en Coordination entre H1, H2 et A4, en attribuant la réalisation des tâches aux agents humains et artificiels sans distinction. **Étape 1** : H1 et H2 réalise une recette selon le plan *Recette* dans l'organisation de Coordination. **Étape 2** : Certains sous-butts sont réalisables par des agents, par exemple surveiller la cuisson. Ce but est attribué à l'agent artificiel A4 au lieu de H1 et H2. Ici, en plus d'une répartition des tâches, le système met en place une conscience partagée en informant les agents humains (Communication).

**Synthèse.** L'apparition et la disparition de dispositifs ou d'utilisateurs sont gérés à la volée dans les trois espaces. La réorganisation des plans en temps réel étant dissociés pour chaque espace (de production, de communication, de coordination), permettant une réorganisation des inputs, des outputs et des tâches indépendamment. La boucle dialogique (la communication entre agents humains et artificiels) s'ar-

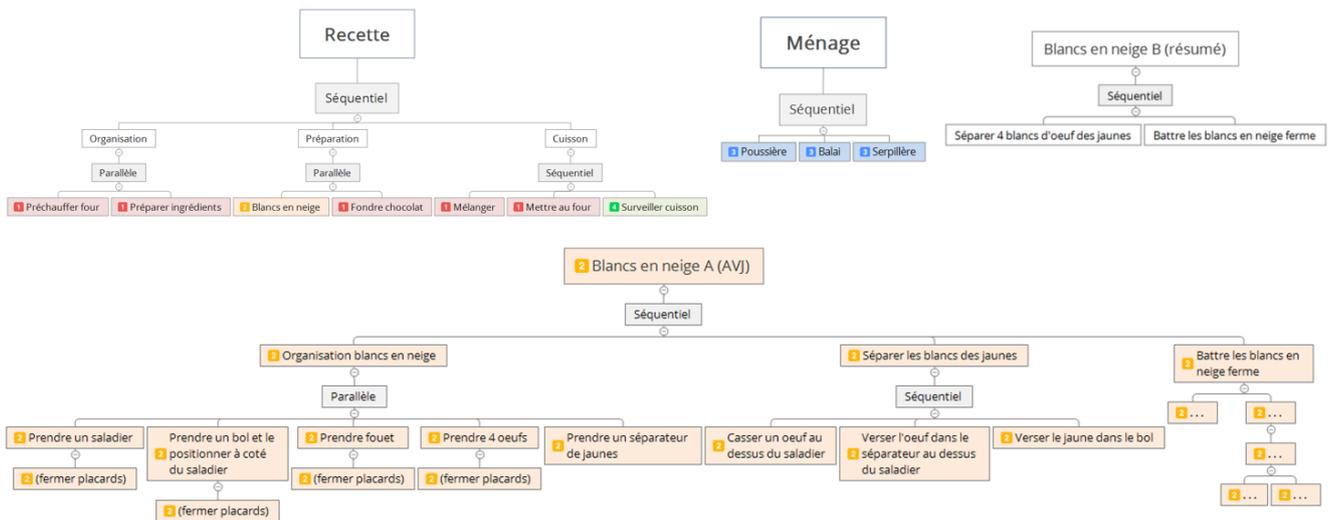


FIGURE 4 – Spécifications fonctionnelles des scénarios illustratifs. Les numéros représentent les agents (1, 2, 3 et 4) à qui seront attribués les sous-butts via les normes. La spécification *Recette* sera répartie entre deux utilisateurs (1, 2) et un agent artificiel (4). Le but *Blancs en neige* sera déclinée en version adaptée *Blancs en neige A (AVJ)*, au lieu de la version résumé *Blancs en neige B (Résumé)*. L'utilisateur 3 fait une autre tâche *Ménage*.

ticule en trois temps. La perception des agents humains par les agents artificiels est ainsi intégrée dans l'espace de production. La prise en compte de l'activité des agents se fait en espace de coordination. Enfin, les retours informés des agents artificiels vers les agents humains sont gérés en espace de communication. L'agent humain perçoit l'information des agents artificiels (retour informé), comprend ce retour et communique aux agents artificiels (retour à l'espace de production). Par exemple, les interactions vocales avec l'utilisateur passent par la captation sonore de l'agent humain. Cette captation sonore est analysée en espace de production en speech-to-text. L'analyse contextuelle de l'information sonore intégrée en espace de production se fait en espace de coordination. Le retour audio (ou autre modalité) vers l'humain est fait en espace de communication. Il est possible d'instancier le paradigme de l'intervention [16] de l'utilisateur via un tableau de bord qui agit directement sur les normes. Plus spécifiquement, un système domotique est intéressant s'il permet un haut niveau d'automatisation, tout en permettant à l'utilisateur d'intervenir. Ici, les agents BDI du SMA peuvent réaliser leurs objectifs, et intégrer les objectifs des agents humains lors de leurs interactions. L'activation et la désactivation de ces normes via un tableau de bord permet la modification du fonctionnement ou de l'analyse de la situation par le système (pour un exemple, voir [33], p 173 figure 4.16 ou p 169 figure 4.12).

## 5 Discussion et Perspectives

Les systèmes domotiques mobilisent de nombreux concepts à articuler : des objets connectés avec inputs, outputs, et services ; ainsi que des agents humains et artificiels. Nous tentons d'y répondre avec le modèle COAH, articulant les inputs en espace de Production, indépendamment des outputs en Communication et la tâche pour laquelle est conçu

le système en Coordination. Le modèle COAH actuel permet de représenter explicitement des spécifications normatives, mais n'en apprend pas de nouvelles. Les agents n'ont pas non plus de mécanismes d'apprentissage. D'autres approches en IA pourront être intégrées. Le système IRON permet de générer automatiquement des normes sans conflit [26]. Mazac [24] propose en domotique une architecture multi-agent qui applique les principes d'apprentissage sensorimoteur (observation et intégration des signaux de l'environnement). Chaouche [6] présente des mécanismes de sélection de plans existants et d'exploration de nouveaux plans par des agents BDI selon le contexte spatio-temporel en domotique. Une autre perspective est de ré-organiser les plans existants, en appliquant les principes d'IA traditionnelles. Par exemple, la méthode formelle Universal Method-Composition Planner [11] permettrait de redéfinir une planification (selon le matériel, les utilisateurs, le contexte) des tâches primitives en production, en coordination et communication, parmi l'ensemble des plans et de leurs décompositions disponibles. Les méthodes de planification automatique sont typiquement applicables aux tâches avec des contraintes d'ordre d'exécution et d'interdépendance, avec notamment les méthodes de type SHOP [28]. Enfin, nous n'aborderons pas dans ce travail les questions du diagnostic, de la migration de services et de la modification de règles en fonction de pannes ne sont pas explicitement traitées ; ni l'identification du profil utilisateur.

Le modèle COHA fonctionne théoriquement. La réalisation d'un simulateur est en cours pour valider expérimentalement le système proposé, à travers des cas d'usage.

## Remerciements

Nous remercions la Plateforme M@D, la Fondation UBS et l'UCO-BS pour le soutien humain et financier.

## Références

- [1] T. Alam. A reliable communication framework and its use in iot. *CSEIT*, 10 :450–456, 2018.
- [2] Y. Benazzouz. *Découverte de contexte pour une adaptation automatique de services en Aml*. PhD thesis, Saint-Etienne, EMSE, 2011.
- [3] R. Blasco, A. Marco, R. Casas, D. Cirujano, and R. Picking. A smart kitchen for ambient assisted living. *Sensors*, 14(1) :1629–1653, 2014.
- [4] O. Boissier, R. H Bordini, J. Hübner, A. Ricci, and A. Santi. Multi-agent oriented programming with jacamo. *Sc. of Computer Prog.*, 78(6) :747–761, 2013.
- [5] M. Castebrunet. *Etude et conception d'un système de personnalisation et d'aide fonctionnelle multi-agents permettant d'assister simultanément de manière transparente les activités de vie quotidienne de multiples personnes dans un Habitat Intelligent pour la Santé*. PhD thesis, Univ. de Sherbrooke, 2011.
- [6] A.C. Chaouche. *Une approche multi-agent pour la conception de systèmes d'Aml : Un modèle formel intégrant planification et apprentissage*. PhD thesis, Univ. P.-M. Curie et Constantine 2, 2015.
- [7] Y. Charif and N. Sabouret. Protocole d'interaction pour la composition de services dans l'intelligence ambiante. *JFSMA*, pages 253–266, 2006.
- [8] J. Coutaz and J. Crowley. Plan “intelligence ambiante” : Défis et opportunités. document de réflexion conjoint du comité d'experts informatique ambiante st2i et du gt intelligence ambiante gcs3, 2008.
- [9] J. Da Silva and Y. Demazeau. Vowels co-ordination model. In *AAMAS*, pages 1129–1136, 2002.
- [10] T. Dujardin, J. Rouillard, J-C. Routier, J-C. Tarby, et al. Gestion intelligente d'un contexte domotique par un sma. *JFSMA*, pages 137–146, 2011.
- [11] K. Erol, J. A Hendler, and D. S Nau. Umcp : A sound and complete procedure for hierarchical task-network planning. In *Aips*, volume 94, pages 249–254, 1994.
- [12] M. Gallissot, J. Caelen, F. Jambon, and B. Meillon. Une plate-forme usage pour l'intégration de l'informatique ambiante dans l'habitat : Domus. *Techniques et sciences informatiques*, 2013.
- [13] S. Giroux, M. Castebrunet, O. Boissier, and V. Rialle. A multiagent approach to personalization and assistance to multiple persons in a smart home. In *Workshops at AAAI*, 2014.
- [14] F. Hamoui, M. Huchard, C. Urtado, and S. Vauttier. Specification of a component-based domotic system to support user-defined scenarios. In *SEKE*, 2009.
- [15] F. Hamoui, M. Huchard, C. Urtado, and S. Vauttier. Un système d'agents à base de composants pour les environnements domotiques. In *LMO*, page 35, 2010.
- [16] T. Herrmann, A. Schmidt, and M. Degeling. From interaction to intervention : An approach for keeping humans in control in the context of socio-technical systems. In *STPIS@ CAiSE*, pages 101–110, 2018.
- [17] T Kirste. Smart environments and self-organizing appliance ensembles. *True Visions*, Springer, 2005.
- [18] S. Kubicki, S. Lepreux, C. Kolski, C. Perrot, and J. Caelen. Tangisense : présentation d'une table interactive avec technologie rfid permettant la manipulation d'objets tangibles et traçables. In *IHM*, 2009.
- [19] N. Kuijpers. *Système autonome de sécurité lors de la préparation d'un repas pour les personnes cognitivement déficientes dans un habitat intelligent pour la santé*. PhD thesis, Univ. Bretagne Sud, 2017.
- [20] N. Kuijpers, S. Giroux, F. de Lamotte, and J-L. Philippe. Proposal of an adaptive service providing system for a multi-user smart home. In *AAAI*, 2016.
- [21] Y. Laurillau and L. Nigay. Clover architecture for groupware. In *ACM CSCW*, pages 236–245, 2002.
- [22] S. Legleye and A. Rolland. 1 personne sur 6 n'utilise pas internet, plus d'un usager sur 3 manque de compétences numériques de base. *Insee*, N° 1780, 2019.
- [23] R. Martins and F. Meneguzzi. A smart home model using jacamo framework. In *INDIN*, page 94, 2014.
- [24] S. Mazac, F. Armetta, and S. Hassas. Approche décentralisée pour un appr. constructiviste en env. continu : application à l'intelli. ambiante. In *JFSMA*, 2015.
- [25] N. Meliti. Architecture basée agents pour le diagnostic d'un système d'iot. *Mémoire de Master en Info.*, Univ. d'Oum Bouaghi Larbi Ben M'hidi, 2017.
- [26] J. Morales, M. Lopez, J. A Rodriguez, M. Wooldridge, and W. Vasconcelos. Automated synthesis of normative systems. In *AAMAS*, pages 483–490, 2013.
- [27] M. Nakamura, H. Igaki, H. Tamada, and K-I. Matsumoto. Implementing integrated services of networked home appliances using service oriented architecture. In *ISCOG*, pages 269–278, 2004.
- [28] D. Nau, T-C Au, O Ilghami, U. Kuter, D. Wu, F. Yaman, H. Munoz, and J. Murdock. Applications of shop and shop2. *Intelligent Systems*, 20(2) :34–41, 2005.
- [29] OMS. *World report on disability*. 2011.
- [30] Y. Rahal, Ph. Mabilieu, and H. Pigot. Bayesian filtering and anonymous sensors for localization in a smart home. In *AINAW vol.2*, pages 793–797. IEEE, 2007.
- [31] P. Rust, G. Picard, and F. Ramparany. Resilient distributed constraint optimization in physical mas. In *ECAI*, 2020.
- [32] A. Schmitt, F. Carlier, V. Renault, and P. Leroux. Communication multi-niveaux pour des iot-a. In *RJ-CIA*, 2017.
- [33] L. Thévin. *Un SMA normatif pour le soutien évaluatif à la collaboration humain-machine : application à la gestion de crise*. PhD thesis, Grenoble Alpes, 2016.
- [34] X. Yao, M. Turoff, and R. Hiltz. A field trial of a collaborative online scenario creation system for emergency management. In *ISCRAM*, volume 1, 2010.