

Communication multi-niveaux pour des IoT-a. Interactions autour d'un mur d'écrans connectés.

Alexandre SCHMITT Florent CARLIER Valérie RENAULT Pascal LEROUX

Université du Maine
Laboratoire Centre de Recherche en Éducation de Nantes (CREN)
Avenue O. Messiaen, 72085 Le Mans, France
prénom.nom@univ-lemans.fr

Résumé

A l'heure où beaucoup d'objets du quotidien deviennent connectés, où des masses considérables d'information sont diffusées sur les réseaux, des questions de méthodologie, de formalisation et de normalisation se posent. Comment pouvons-nous faire cohabiter, de façon cohérente, le monde des objets connectés (Internet of Things : IoT) et du Big Data, le monde des objets réels avec les masses d'informations immatérielles ? Comment visualiser et manipuler, de façon intuitive, ces masses de données hétérogènes issues de capteurs diffus dans notre environnement ? Nous proposons d'introduire de l'intelligence au plus près des composants électroniques de ces objets connectés. L'objectif est de considérer ces objets physiques comme des "Internet of Things - Agents", que nous nommons IoT-a. La plateforme Triskell3S a ainsi été expérimentée sur un ensemble hétérogène d'objets connectés formant un mur d'écrans interactif et modulable. Ce mur d'écrans est constitué de briques autonomes, de IoT-a, pouvant être composées d'un dispositif visuel et d'une carte embarquée. L'architecture sous-jacente repose sur l'adaptation de modèles multi-agents au plus près du hardware des objets physiques réels. Dans un souci d'interopérabilité, cette architecture se focalise sur l'adéquation de protocoles de communication : le protocole MQTT, dédié aux communications inter-objets et le protocole D-Bus, dédié aux échanges intra-objets. Ces deux protocoles sont ainsi intégrés à notre architecture tout en respectant la norme FIPA-ACL, définie pour les systèmes multi-agents.

Mots Clef

Objets connectés, Internet of Things, Systèmes multi-agents embarqués, Mur d'écrans, Table surface, Systèmes embarqués.

Abstract

When several day-to-day objects become connected, or a considerable amount of information is released throughout networks, one can wonder about matters of methodologies, formalization and normalization. How can one coherently make IoT and Big Data live together, this world of ac-

tual objects and tons of immaterial information ? How can one visualize and manipulate, intuitively, this important amount of heterogenous data sent by sensors spread in our environment ? We propose the introduction of intelligence as close to those connected appliances as can be. The main goal is to consider those physical objects as Internet of Things – Agents, which we name IoT-a. The Triskell3S platform was thus tested out on a heterogenous system of connected objects composing a multi-screen wall display which is interactive and adjustable. This multi-screen wall display is composed of autonomous bricks, which are IoT-a and which can be composed of a visual device and an embedded system. The resulting architecture rests on the adaptation of multi-agents models located as close as can be to the real physical objects. As a means of allowing interoperability, this architecture focuses on matching with communication protocols : protocol MQTT, dedicated to inter-objects exchange, and protocol D-Bus, dedicated to intra-objects exchanges. These two protocols are thus integrated to our architecture in full respect of the FIPA-ACL norm, defined for multi-agents systems.

Keywords

Internet of Things, Multi-Agents Systems, Wall display, Surface table, Embedded system.

1 Introduction

Le domaine des objets connectés (Internet of Things / IoT) connaît un essor important et est de plus en plus présent dans notre environnement. De nombreuses entreprises souhaitent disposer de plus amples informations concernant leurs activités afin de chiffrer et mieux évaluer leur rendement. Les objets connectés leur apportent une solution concernant cette problématique. Les IoT sont des Systèmes Embarqués (SE) légers en interaction avec l'environnement réel. Leur nombre croît à une vitesse importante et ces objets feront partie intégrante de notre vie quotidienne dans quelques années. Les entreprises se tournent aujourd'hui vers ces solutions pour avoir un retour d'informations précis de leurs activités ou de leurs environnements de travail.

Dans ce contexte, nous pensons que l'intégration de Systèmes Multi-Agents (SMA) dans les IoT doit permettre de traiter des données hétérogènes, issues d'un environnement complexe et distribué. Nous rajoutons ainsi de l'intelligence au sein même de ces objets connectés. En intégrant l'intelligence au plus près des composants électroniques, nous nommons IoT-a les objets physiques du type "Internet of Things - agents". Ainsi l'intelligence reste distribuée dans les objets et non centralisée et déportée dans le "cloud" [5].

Dans cet article, nous introduisons le contexte industriel dans lequel est menée cette recherche afin d'aboutir au positionnement des problématiques. Nous proposons ensuite une revue détaillée des différents paradigmes développés dans le domaine des IoT et les liens établis dans la littérature entre les IoT et les systèmes multi-agents. Une présentation des applications envisagées sera détaillée dans la section 5. En particulier, nous montrerons comment les paradigmes et normes des domaines agents et des IoT peuvent cohabiter en mettant en oeuvre les protocoles MQTT et D-Bus tout en respectant les standards FIPA-ACL. Enfin, nous discuterons des différentes perspectives à envisager autour de ce travail selon qu'il est abordé d'un point de vue IoT-a, données ou usages.

2 Interactions de données hétérogènes via des supports interactifs

L'entreprise SARP souhaite bénéficier d'un nouvel outil pour ses équipes d'organisation. Chaque agence est composée d'un ou plusieurs centres opérationnels. Ces centres organisent des chantiers au quotidien. Ils sont constitués de deux à trois personnes appelées assistants d'exploitation. Un chantier nécessite la manipulation de trois types de données contraintes : les ressources humaines, matérielles et la planification de chantiers. Les ressources humaines concernent les équipes de chantiers. Elles sont composées d'opérateurs ayant des qualifications propres en rapport avec différents types de travaux (travail en hauteur, permis poids lourds, amiante, etc.). Les véhicules se composent de matériel spécifique et ne sont compatibles que pour certains chantiers et opérateurs.

Concernant la planification, des aléas à différentes échelles (la détérioration de matériel, l'absence de personnels qualifiés, l'accès impossible à un chantier dû au retard d'un autre corps de métier) perturbent les plannings établis. Un assistant d'exploitation reçoit en continue des demandes client. Il planifie avec eux les interventions puis élabore les équipes d'opérateurs et de matériels compatibles pour les chantiers tout en ayant en tête les aléas pouvant perturber l'intervention.

Lors de cette organisation, il est important que les équipes de gestion aient un oeil sur la rentabilité des activités. Un outil interne calcule des indicateurs cohérents à l'activité quotidienne. Il est donc nécessaire de bénéficier d'un affichage interactif prenant en compte toutes ces données pour un meilleur contrôle des coûts et de la rentabilité.

Une large surface d'affichage et un espace collaboratif de manipulation des données, permettra aux opérateurs du centre de contrôle de visualiser et d'interagir de façon collective avec toutes ces données. Les assistants d'exploitation pourront ainsi visualiser différentes échelles et points de vue de ces données hétérogènes et distribuées. Plusieurs possibilités d'agrégats d'informations sont envisageables. Comment visualiser simplement l'antériorité des chantiers : leurs localisation, retour d'informations antérieures, spécificités techniques et organisationnelles pour en ressortir une information utile à l'assistant d'exploitation durant une organisation de journée ? Comment connaître les ressources matérielles et humaines disponibles et en capacité d'intervenir, sur un secteur d'activité, pour répondre à une urgence client plus efficacement ?

L'ensemble du projet reposera sur l'utilisation d'une plateforme multi-agents. Cette dernière sera la clé de voûte des échanges entre les différents éléments hétérogènes portant les informations représentatives des activités de l'entreprise. Ce système se voudra inter-opérable quel que soit le type de matériel utilisé (PC, Tablette, Smartphone, Table surface, etc.)

3 Problématiques

Nos travaux reposent sur deux problématiques principales conjointes.

La première concerne les aspects matériel et logiciel dans le contexte des SMA appliqués aux objets connectés. Par exemple, comment intégrer les notions de SMA au sein d'objets connectés, pour en optimiser la communication et les échanges ?

La seconde prend en compte les contraintes de données complexes. Comment manipuler et visualiser à différentes échelles des données hétérogènes et distribuées reposant sur des IoT-a ?

Ces recherches devront être directement expérimentées et appliquées afin de réaliser un réseau de communication entre différentes données réparties sur un territoire géographique et un centre de contrôle. L'ensemble du système sera visualisé sur un mur d'écrans interactifs manipulable via une table de surface.

4 Etat de l'art

Différents travaux ont montré l'intérêt des SMA dans les systèmes embarqués [12]. Des plateformes spécifiques telles que Spade [10] ou JADE [2] permettent d'expérimenter des modèles SMA. JADE, par exemple, "permet aux développeurs d'implémenter et de déployer des systèmes multi-agents, y compris des agents tournant sur des réseaux sans-fil ou sur des dispositifs ayant des ressources limitées" [3]. Le plus souvent ces solutions adoptent l'utilisation d'une couche d'abstraction logicielle [1]. Elle permet de s'affranchir de l'aspect matériel des systèmes sur lesquels ils peuvent être exécutés. En l'occurrence JADE repose sur le langage JAVA utilisant un moteur virtuel pour le rendre interopérable.

Tableau 1 – Comparatif des protocoles de communication

	AMQP	HTTP	MQTT	CoAP
Taille de messages	Faible Flux d'octets adaptés à l'information. Type + Objet	Importante Entête volumineuse Informations sous forme de messages texte	Très faible Flux d'octets adaptés à l'information. Information brute	Moyenne Informations sous forme de messages texte
Qualité de service	Même pour tous les messages En développement	Même pour tous les messages	Trois types de qualité de service	3 types de confirmations d'envoi
Type de distribution de messages	1 vers 1 et 1 vers N	1 vers 1	1 vers 0, 1 vers 1 et 1 vers N	1 vers 1 et 1 vers N
Architecture	Publish/Subscribe and Request/Response	Request/Response	Publish/Subscribe	Request/Response and Publish/Subscribe
Bridge	non	non	oui	non
Contexte d'usage	Bancaire	Page WEB	Objets connectés	Objets connectés

Ces solutions ne sont pas optimales pour un contexte embarqué.

Notre approche repose sur l'intégration d'agents au plus près de la couche matérielle des IoT [11]. En effet, un IoT est d'abord un système embarqué intégrant du matériel et un logiciel adapté à son activité. Ce matériel dispose très souvent de ressources (CPU, mémoire, énergie) assez limitées. Ce choix permet d'avoir une consommation la plus faible possible. Le logiciel embarqué est conçu pour répondre au mieux aux exigences du matériel. Il est alors intéressant de proposer des solutions, apportant un minimum d'intelligence, adaptées à une intégration matérielle exigeante telle que celle des IoT.

Tout IoT repose sur un système embarqué plus ou moins performant en fonction de la nature des informations dont il dispose. Il devient donc possible de rendre connecté tout ce qui est mesurable et/ou interopérable. Cette diversité et hétérogénéité des objets laisse apparaître un problème de taille concernant l'analyse cohérente des informations collectées.

Notre postulat est donc d'intégrer, au sein même des IoT, une couche agent autorisant une communication entre les différents objets réseaux. Nous proposons le terme de IoT-a comme acronyme de "Internet of Things-Agents" [4], pour représenter ces entités autonomes diffusées dans l'environnement et interconnectées. Dans cette vision, chaque IoT est un agent ayant des caractéristiques communes avec tous les autres IoT. Cet IoT-a a, entre autre, la capacité d'interagir avec d'autres agents IoT-a et il peut ainsi être doté de nouveaux comportements hétérogènes en fonction de son rôle dans l'environnement. Ces comportements le différencient alors d'un simple "capteur connecté". Nos travaux vont se centrer ainsi sur la communication entre IoT-a afin de mettre en adéquation les standards agent et les standards du domaine des IoT.

De nombreux réseaux industriels permettent aujourd'hui d'interconnecter des IoT : les réseaux SigFox ou LoRa [7] sont des supports d'informations fiables à faible coût, pour des échanges légers. Afin d'organiser l'information de tous ces objets connectés différents protocoles ouverts sont disponibles [9]. Le tableau 1 dresse un comparatif non exhaustif de quatre des principaux protocoles d'échanges d'informations et notamment les protocoles MQTT et CoAP adaptés aux communications pour objets connectés. CoAP est très proche du protocole HTTP et intègre d'ailleurs de nombreuses fonctionnalités. Il a été conçu pour bénéficier d'une consommation plus faible par échange par rapport au HTML. CoAP repose néanmoins sur une logique d'échange de message texte ce qui peut s'avérer particulièrement lourd lors d'échange de données numérique et peut être adapté aux contraintes de notre projet. Il est montré dans [18] que MQTT apporte moins de délais de transmission et moins de paquets perdus pour une grande quantité d'échange d'information. Le protocole MQTT ressort comme étant le plus adapté à notre contexte de recherche. Ce protocole est ouvert "Machine-to-Machine", il permet des échanges de données bas niveau portés par un réseau TCP/IP. Il est encapsulé dans des trames TCP et dispose de plusieurs types de qualité de service. Il s'avère à la fois très léger et particulièrement robuste. Ces caractéristiques sont nécessaires car la communication avec les IoT est bien souvent effectuée sur des canaux de transmission assez bruités, car éloignés des bandes de bases, et à faible bande passante pour bénéficier d'une consommation la plus faible possible.

Afin d'optimiser la communication des IoT-a, il sera aussi nécessaire de définir les messages échangés et donc l'ontologie spécifique adaptée aux interactions inter-agents et agent-humains [13].

Notre expérimentation portera sur un mur d'écrans [17] permettant la visualisation des données métiers et sur son interaction avec une table surface permettant la manipulation collaborative de ces données.

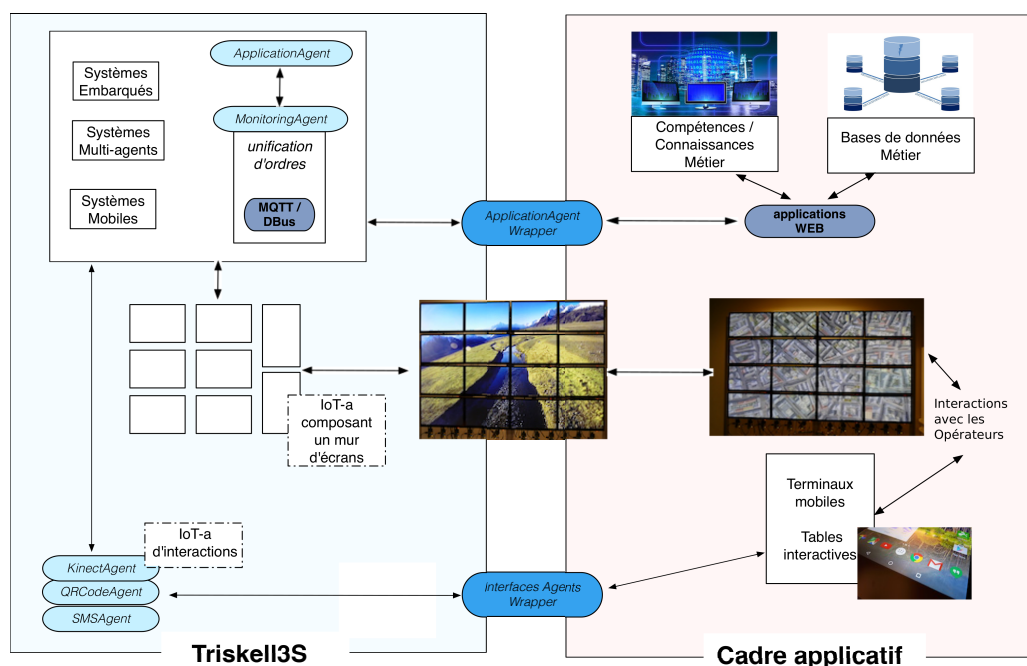


FIGURE 1 – Plateforme Triskell3S et ses interactions

Chaque brique écran du mur, ainsi que la table surface, étant considérée comme un IoT-a comme résumé sur la figure 1.

Dans notre cas l'ensemble de systèmes embarqués IoT-a est un mur écrans couplé d'une table surface tactile. Les interactions entre IoT-a sont au centre de ce sujet de recherche. Comment les optimiser pour les rendre compatible avec les interactions qu'impose la norme FIPA ? Quelles sont les redondances de communication à éviter pour un meilleur gain en performance ?

5 Communication et interactions multi-niveaux

5.1 Communication entre agents

Afin de faire évoluer l'ensemble des IoT-a de notre système dans un environnement multi-agents l'implémentation d'une plateforme dédiée aux systèmes embarqués a été nécessaire. Les développements ont été effectués de façon à respecter le standard FIPA. La plateforme Triskell3S [4] développée en C++ fait cohabiter les différents agents s'occupant de la gestion de contenus vidéo à afficher sur le mur d'écrans [5]. Les communications inter-agents/intracarte se font via le protocole D-Bus permettant des accès bas niveau et à haute vitesse avec le système. Il est possible d'interagir entre différents agents situés à des niveaux différents (de la couche matérielle bas niveau vers la couche logicielle utilisateur). Les communications inter-carte sont effectuées via le réseau ethernet avec le protocole MQTT. Avant de spécifier l'ontologie, la première étape de nos recherches repose sur l'optimisation de l'architecture des

protocoles des messages entre IoT-a.

Le MQTT repose sur le mécanisme de *publisher/subscriber* [6]. Un client peut souscrire à un fil de messages nommé *topic* et/ou publier sur un fil particulier. Cette architecture permet des communications synchrones de 1 vers 1 ou 1 vers N clients ou encore asynchrone de 1 vers 0 hôte (il est possible de publier un message sur un topic souscrits par aucun client). Un serveur d'échange de messages MQTT est appelé *broker*. Plusieurs projets proposent des *brokers*, comme par exemple, IBM WebSphere MQ, HiveMQ, Mosquitto, etc. Nous utilisons dans le cadre de nos recherches, le projet open source Mosquitto. Il propose un *broker* et une librairie pour la création de clients légers développés en langage C. Cette solution est la plus pertinente pour notre environnement embarqué. La version actuelle du *broker* Mosquitto permet un code exécutable de 120Ko consommant 3Mo de mémoire RAM pour 1000 clients connectés [16]. Son fonctionnement sur plateformes x86 et ARM (architecture de nos systèmes embarqués) a été validé.

Le MQTT présente de nombreux avantages parmi lesquels la notion de *bridge*. Cette option permet une interconnexion privilégiée entre les *brokers*. Plusieurs systèmes disposant chacun d'un *broker*, peuvent se partager mutuellement et simultanément leurs informations via un *bridge*. Cette solution ouvre de nombreuses possibilités et nous offre principalement le moyen de communiquer de façon décentralisée sur tout élément agent de notre réseau.

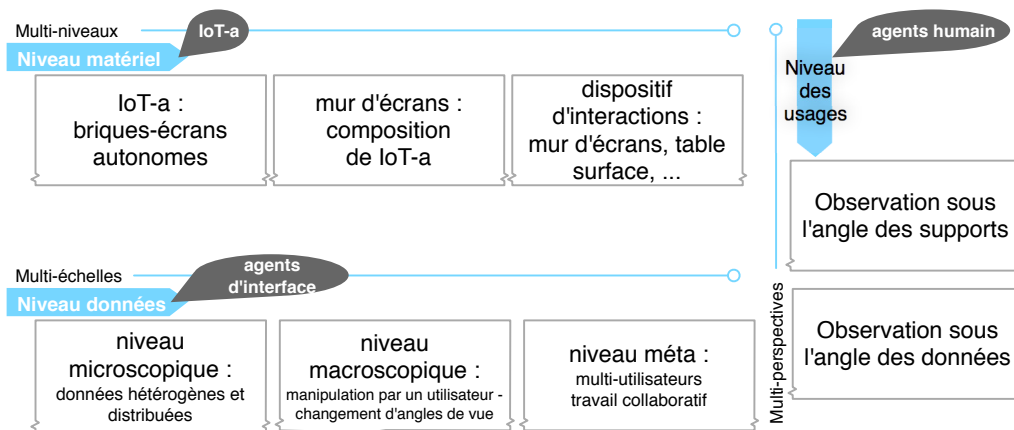


FIGURE 2 – Niveaux croisés de compétences

Différentes expérimentations devront maintenant être menées afin de mesurer les avantages et les limites de cette solution. Ces mécanismes de communication, via les bridges, permettent d'envisager des interactions multi-niveaux selon les besoins d'affichage et d'interactions des opérateurs humains.

5.2 Multi-échelles, multi-niveaux et multi-perspectives

Comme résumé dans la figure 2, ces travaux peuvent être abordés sous différentes perspectives selon que l'on s'intéresse aux aspects matériels, aux données ou aux usages. L'intégration des IoT-a au niveau des briques-écrans, du mur d'écrans et des différents outils d'interactions mis en oeuvre pour manipuler les données implique une analyse *multi-niveaux* de la plateforme Triskell3S et de la gestion de modèle agent de communication. Les agents présents au sein de la plateforme Triskell3S peuvent ainsi être appréhendés à des niveaux d'abstractions différents et regroupés en fonction de leurs capacités. Une vue microscopique de l'environnement permet ainsi de comprendre les interactions au sein d'une même carte embarquée. La vue macroscopique, quant à elle, permet d'appréhender les interactions entre des agents de plus haut niveau exécutant des services plus complexes.

Du point de vue des données, la granularité des informations métier transitant dans notre système suggère une approche *multi-échelles*. Nos travaux se rapprochent alors de ceux de C. Duchêne [8] pour son approche multi-échelles appliquée à l'agrégation d'agents dans le domaine de la cartographie. Son objectif est d'agréger un jeu de données géographiques vectorielles, dans un but de généralisation cartographique. Ces études montrent la difficulté du passage à l'échelle et le rôle organisationnel que peuvent avoir les agents dans ce contexte. Dans notre cas, la distribution des données métier et les différents niveaux de compétences des utilisateurs nous permettront de confronter cette approche multi-échelles dans un environnement embarqué

contraint en ressources de calcul. Cette approche pourra donc avoir des conséquences sur les protocoles de communication sous-jacents entre nos IoT-a.

Le troisième axe de la figure 2 concerne les usagers du dispositif, et en particulier les opérateurs qui devront manipuler de façon collaborative les données métier. Là encore, plusieurs perspectives sont à co-construire selon que les travaux se placent sur les moyens matériels d'interactions supportés par le dispositif ou sur les données à manipuler. Ces différentes granularités dans les approches seront abordées dans les travaux avec une priorité sur l'analyse multi-niveaux des agents et sur leur processus de communication. Par exemple, comment interagir de façon cohérente à des niveaux différents, pour répondre à des problèmes globaux au niveau des interfaces ? Est-il pertinent de regrouper certains domaines de compétences des agents pour faciliter la gestion de contenus hétérogènes ?

Différents travaux ont été menés mettant en perspective le rôle des systèmes multi-agents dans des environnements interactifs tels que des tables interactives [13]. Ces travaux soulignent que la conception de dispositifs interactifs complexes doivent être menés de front avec la conception de la plateforme sous-jacente.

6 Conclusion et Perspectives

L'objectif de cette recherche est d'étudier et d'optimiser ces protocoles de communication multi-niveaux dans le cadre des IoT-a, tout en tenant compte des problèmes de sécurité inhérents aux IoT. Il sera nécessaire de tester la réactivité et l'efficacité de ces protocoles lors d'interactions plus importantes avec les usagers. Cette étape devrait permettre de développer de nouveaux moyens d'interaction et d'usage du mur d'écrans en proposant de nouveaux IoT-a d'interactions complémentaires aux agents d'IHM.

Cette étape devrait aussi conduire à s'interroger sur la typologie et l'optimisation des messages à mettre en place au travers des protocoles prédéfinis MQTT et D-Bus.

Kubicki et al. [14] présentent un état des lieux des expériences utilisateurs et des critères d'évaluation des tables interactives, notamment dans des contextes de tâches collaboratives. La multi-modalité et les caractères multi-utilisateurs peuvent modifier la collaboration traditionnelle des opérateurs. Des agents d'interface devront donc être introduits progressivement dans le système afin d'aider à l'acceptation du dispositif. Des travaux complémentaires dans le domaine des Interfaces Homme-Machine seront donc nécessaires. Ils permettront aussi d'étendre et d'expérimenter le dispositif mur d'écrans et table de surface à d'autres contextes [15], tels que le contexte éducatif.

Remerciements

Les travaux menés dans cet article bénéficient d'un financement de thèse CIFRE en partenariat entre le laboratoire Centre de Recherche en Éducation de Nantes (CREN) et l'entreprise SARP - SOA Le Mans avec la collaboration de Frédéric Le Bouguenec, Directeur Technique et Innovation.

Bibliographie

- [1] Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The internet of things : A survey. *Computer Networks*, 54(15) :2787 – 2805, 2010.
- [2] Fabio Luigi Bellifemine, Giovanni Caire, and Dominic Greenwood. *Developing Multi-Agent Systems with JADE (Wiley Series in Agent Technology)*. John Wiley & Sons, 2007.
- [3] Federico Bergenti, Giovanni Caire, and Danilo Gotta. Agents on the move : Jade for android devices. In *Proceedings of the XV Workshop "Dagli Oggetti agli Agenti" (WOA 2014)*, volume 1260 of *CEUR-WS*, pages 1613–073. Corrado Santoro (ed.), 2014.
- [4] F. Carlier and V. Renault. Iot-a, embedded agents for smart internet of things : Application on a display wall. In *2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, The First International Workshop on the Internet of Agents (IoA)*, pages 80–83, Omaha, Nebraska, USA, 13-16 Oct. 2016 2016. IEEE Computer Society.
- [5] F. Carlier and V. Renault. Systeme d'affichage multi-agents et methode d'affichage associee. Brevet, Notice, 10 Mars 2017.
- [6] MQTT community. MQTT homepage. <http://mqtt.org/>. Page d'accueil organisation mqtt.
- [7] Walid Dabbous. Quels réseaux pour les Big Data ? In Mokrane Bouzeghoub and Rémy Mosseri, editors, *Les Big Data à découvert*. CNRS Editions, 2017.
- [8] Cécile Duchêne. *Automatisation de la généralisation cartographique - Relations et interactions, orchestration et approches multi-agents*. Habilitation à diriger des recherches, spécialité sciences et technologies de l'information géographique, Université Paris-Est, jun 2016.
- [9] Simon Duquennoy, Gilles Grimaud, and Jean-Jacques Vandewalle. The Web of Things : interconnecting devices with high usability and performance. In *ICESS 2009*, HangZhou, Chile, May 2009.
- [10] Miguel Escrivá Gregori, Javier Palanca Cámara, and Gustavo Aranda Bada. A jabber-based multi-agent system platform. In *Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS '06*, pages 1282–1284, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [11] Jean-Paul Jamont and Michel Ocelllo. Designing embedded collective systems : The DIAMOND multiagent method. In *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence - ICTAI 07*, pages 91–94, Patras, Greece, 2007. IEEE Computer Society.
- [12] Jean-Paul Jamont and Michel Ocelllo. A multiagent method to design open embedded complex systems. In P. Fritzsche, editor, *Tools in Artificial Intelligence*, pages 205–222. In-Teh, 2008.
- [13] Céline Joiron, Frédéric Fürst, Gilles Kassel, Alistair Jones, Jean-Paul Barthès, Claude Moulin, and Dominique Lenne. An Ontology for Designing a Collaborative Platform Involving a Multi-touch and Multi-user Interactive Table. In Jan Dietz, editor, *KEOD*, pages 1–12, Vilamoura, Portugal, September 2013.
- [14] Sébastien Kubicki, Katarzyna Borgiel, Sophie Lepreux, Marion Wolff, and Christophe Kolski. Réflexions autour des tables interactives : expérience utilisateur, utilisabilité, évaluation. *Le travail humain*, pages 229–252, December 2012.
- [15] Sébastien Kubicki, Denis Pasco, and Ingrid Arnaud. Utilisation en classe d'un jeu sérieux sur table interactive avec objets tangibles pour favoriser l'activité des élèves : une évaluation comparative en cours préparatoire. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF)*, 21 :1, October 2014.
- [16] Roger Light. Project mosquito. <https://www.mosquitto.org>. Page d'accueil du projet Mosquitto.
- [17] V. Renault, F. Carlier, and A. Schmitt. Framework sma pour visualisation multi-écrans. In *Journée Interaction Homme-Machine et Intelligence Artificielle*, Université Pierre et Marie-Curie, Paris, France, 17 Mars 2017.
- [18] D. Thangavel, X. Ma, A. Valera, H. X. Tan, and C. K. Y. Tan. Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware. In *2014 IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, pages 1–6, April 2014.