



HAL
open science

Méthodes et outils intergiciels de gestion de contexte multiéchelle pour l'Internet des objets : rapport de fin du projet ANR INCOME

Jean-Paul Arcangeli, Amel Bouzeghoub, Valérie Camps, Sophie Chabridon, Denis Conan, Thierry Desprats, Romain Laborde, Sébastien Leriche, Pierrick Marie, Mohamed Mbarki, et al.

► To cite this version:

Jean-Paul Arcangeli, Amel Bouzeghoub, Valérie Camps, Sophie Chabridon, Denis Conan, et al.. Méthodes et outils intergiciels de gestion de contexte multiéchelle pour l'Internet des objets : rapport de fin du projet ANR INCOME. [Rapport de recherche] IRIT. 2016. hal-03165033

HAL Id: hal-03165033

<https://hal.science/hal-03165033>

Submitted on 8 Jun 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.



*IN*frastructure de gestion de *CO*ntexte *MULTI*Échelle pour l'Internet des objets
Multiscale Context Management Software Infrastructure for the Internet of Things

Compte-rendu de fin de projet

Mémoire scientifique

1er juin 2016



Table des matières

1	Enjeux et problématique	3
2	Approche scientifique et technique	4
3	Résultats obtenus	5
3.1	Système de caractérisation à multiples points de vue et échelles	5
3.2	Système réparti multiéchelle à base d'événements	5
3.3	Identification de situations par approche hybride ontologie et SMA adaptatifs	6
3.4	Qualification et protection des informations de contexte	6
3.5	Processus et infrastructure de déploiement	7
3.6	Démonstrateur 4ME	7
4	Retombées du projet	8
4.1	Publications et animations scientifiques	8
4.2	Collaborations internationales	8
4.3	Logiciels à la disposition de la communauté	8
4.4	Retombées industrielles	9
4.5	Diffusion dans le cadre d'unités d'enseignement	9
5	Discussion	9
6	Conclusions	10

Résumé

L'Internet des objets est une extension de l'Internet qui ouvre de nombreuses opportunités de construction de nouveaux services à haute valeur ajoutée dans de nombreux domaines. Cependant, les concepteurs de ces services doivent prendre en main des systèmes logiciels de plus en plus complexes.

Le projet INCOME étudie la brique logicielle de gestion de contexte qui traite et achemine les informations en provenance de l'Internet des objets entre producteurs et consommateurs d'informations fortement découplés. Le projet cible deux défis importants posés par l'Internet des objets : le traitement d'un flot continu d'informations et l'accès ouvert aux informations.

INCOME propose des processus, des langages et des outils logiciels génériques pour la conception, la mise en œuvre, le déploiement et l'exécution de gestionnaires de contexte capables non seulement de transformer et d'acheminer, mais en plus d'interpréter, de qualifier, de protéger et de filtrer les informations de contexte.

Les propositions sont mises en œuvre dans un démonstrateur pour le guidage porte à porte des usagers de transports multimodaux dans la ville intelligente.

1 Enjeux et problématique

Aujourd'hui, avec l'Internet des objets, de nouveaux services numériques intelligents peuvent être proposés dans différents domaines tels que la ville, la santé, l'agriculture, l'industrie du futur. La difficulté pour mettre en œuvre ces services provient du nombre, de la variété, de la dispersion et de la volatilité des objets et des utilisateurs. Ceux-ci produisent des données de qualités et de niveaux d'abstraction variables dont certaines sont particulièrement sensibles du point de vue de la vie privée des utilisateurs.

La **gestion de contexte** est une fonction essentielle pour la réalisation de services au-dessus de l'Internet des objets. Elle repose sur un système réparti constitué d'un grand nombre de composants logiciels aux fonctions multiples : collecte et production d'informations de contexte, identification de situations, traitements intermédiaires, routage logique et filtrage des informations à grande échelle. Ces composants, qui interagissent et échangent des flux d'informations, sont déployés sur des appareils hétérogènes : capteurs et objets intelligents à capacité limitée, *smartphones* et tablettes, ordinateurs personnels, serveurs de proximité, machines de l'informatique en nuage... Jusqu'en 2010 environ, la sensibilité des services au contexte était limitée à l'environnement ambiant [77]. Avec l'Internet des objets, les services peuvent être sensibles à des données issues de sources distantes. Proposer une infrastructure logicielle pour supporter de tels services présente un certain nombre de défis : outre l'hétérogénéité des données, la gestion de contexte doit répartir les traitements et contrôler les flux d'informations, assurer le passage à l'échelle, s'adapter à des environnements dynamiques et gérer des informations de qualité de contexte pour permettre des prises de décision appropriées. D'autre part, pour l'acceptabilité sociale des nouveaux services développés, il est indispensable de garantir le respect de la vie privée et la protection des données personnelles lors de la communication des informations de contexte.

Pour favoriser l'éclosion de nouveaux services à construire au-dessus de l'Internet des objets, il est nécessaire d'accompagner et d'outiller la **conception**, la **mise en œuvre**, le **déploiement** et l'**exécution** d'infrastructures adaptées de gestion de contexte. De plus, il est important de considérer l'ensemble du cycle de vie de ces services, de leur conception à leur déploiement [81].

Le projet INCOME cible certains défis mentionnés dans le document stratégique produit par l'IERC en 2012 [84] : la gestion de la complexité, la décentralisation des traitements pour le passage à l'échelle, la gestion basée sur les événements, la gestion d'événements complexes,

la détection de situations d'adaptation de haut niveau sémantique, la gestion des données et des sources incertaines, ainsi que le respect de la vie privée. Notre contribution se situe au niveau **intergiciel** (logiciel entre le système et les applications) afin de permettre aux concepteurs de services de faire abstraction des aspects techniques liés aux interactions avec l'Internet des objets. INCOME propose une suite logicielle, c'est-à-dire des **processus** et une **infrastructure logicielle** génériques, qui supporte la conception, la mise en œuvre, le déploiement et l'exécution de gestionnaires de contexte capables de transformer et d'acheminer, mais aussi d'**interpréter**, de **qualifier**, de **protéger** et de **filtrer** les informations de contexte calculées à partir des données collectées. INCOME répond ainsi à des exigences architecturales, fonctionnelles et extrafonctionnelles majeures :

- répartir les traitements et gérer les flux d'information dans un contexte de multiplicité, de dispersion, de dynamique et d'instabilité des producteurs et des consommateurs d'information ;
- contrôler et adapter la qualité des informations de contexte (QoC), par exemple la précision, la complétude et la fraîcheur ;
- respecter la confidentialité des informations pour protéger la vie privée des utilisateurs ;
- identifier des situations contextuelles en environnement instable et ouvert ;
- déployer le système de gestion de contexte en s'adaptant à l'environnement et à ses variations.

2 Approche scientifique et technique

Pour couvrir l'ensemble du cycle de vie des services, nous adoptons une approche dirigée par les modèles. Cette approche permet aux concepteurs de mieux appréhender la complexité des systèmes inhérente à l'Internet des objets [28]. Plus spécifiquement, nous ajoutons au processus une activité de caractérisation des aspects « multiéchelles » des systèmes à concevoir. Grâce à cette caractérisation, il est possible de contrôler la portée de diffusion des informations ainsi que le déploiement des composants de gestion de contexte dans un environnement réparti. Cette approche permet une meilleure maîtrise de la complexité qui résulte des caractéristiques d'hétérogénéité, de répartition et de dynamique propres à l'IoT.

Alors que les solutions de l'état de l'art sont généralement centralisées ou à base de serveurs dans des nuages, la décentralisation choisie répond à un besoin de localité, dans le but de réaliser les traitements au plus près des producteurs et des consommateurs (sur l'objet connecté, sur un mobile, sur un serveur de proximité, etc.) pour réduire la latence et passer à l'échelle en nombre d'entités. Aussi, nous privilégions une **architecture fortement décentralisée** basée sur un **système réparti à base d'événements**.

Les exigences de **qualité** et de **respect de la vie privée** sont liées à l'accès ouvert aux informations dans l'Internet des objets. Ces deux exigences étant dépendantes, notre approche consiste à les prendre en compte conjointement et à considérer de manière symétrique les exigences et les garanties exprimées par les producteurs et les consommateurs.

Pour l'**identification de situation**, nous étudions comment les approches ontologiques, qui offrent un haut niveau d'abstraction et de formalisation, et les systèmes multi-agents (SMA), qui sont capables d'apprentissage adaptatif, peuvent être combinés pour interpréter le contexte et rendre l'identification de situation plus dynamique et mieux adaptée aux environnements ouverts et multiéchelles.

Enfin, pour s'adapter aux contraintes opérationnelles d'hétérogénéité et de dynamique au sein de l'IoT et répondre aux exigences de **déploiement** [4] (expressivité pour l'ingénieur, nombre et variété des appareils, apparitions et disparitions), notre approche repose sur une **spécification** abstraite des propriétés de déploiement du système de gestion de contexte

conformément à sa caractérisation multiéchelle, et une **réalisation** automatisée et adaptative de manière décentralisée et autonome.

3 Résultats obtenus

Dans cette section, nous résumons les principaux résultats du projet et nous les positionnons par rapport à l'état de l'art.

3.1 Système de caractérisation à multiples points de vue et échelles

La modélisation par points de vue permet d'étudier un système avec un haut niveau d'abstraction et selon des points de vue complémentaires qui aident l'architecte à appréhender la complexité du système [79, 39]. Nous proposons un **système de caractérisation à multiples points de vue et échelles**, dans lequel le choix des points de vue (par exemple *administratif*, *géographique* ou *réseau*), des dimensions (par exemple *zone géographique* ou *distance*) et des échelles (par exemple *ville* ou *pays* pour la dimension *zone géographique*) est ouvert et non limité [73]. Le concepteur sélectionne les points de vue, dimensions et échelles pertinents en fonction des propriétés attendues du système. Alors, la caractérisation dite multiéchelle permet d'obtenir une vue réduite du système complexe. Le processus original de caractérisation multiéchelle que nous avons formalisé est supporté par le cadriciel MUSCA¹ [76]. La caractérisation obtenue est utilisée notamment pour le contrôle des flux d'informations (définition des portées de diffusion, filtrage des informations) [47] et pour le déploiement [19].

3.2 Système réparti multiéchelle à base d'événements

Comme rappelé dans [85], les choix architecturaux oscillent de manière cyclique entre centralisation et répartition. Dans l'approche centralisée mettant en œuvre l'informatique en nuage (par exemple la plateforme ARTIK Cloud [29] ou le standard IEEE-1888 [42]), le modèle d'affaire suppose que les applications tolèrent des latences possiblement élevées, des coûts de communication et énergétiques potentiellement élevés, et une centralisation des données personnelles par des tiers. En ligne avec les recommandations de la littérature pour les futures plateformes de l'IoT [35, 11], nous choisissons plutôt le modèle de communication publier-souscrire [36] qui permet des interactions anonymes et asynchrones entre producteurs et consommateurs, et dans lequel les informations sont acheminées et filtrées sur la base de contrats afin de propager les informations quand et où cela est nécessaire.

Dans un premier temps, nous proposons des filtres basés contenu qui permettent de réaliser des filtrages sur tout type d'information. Ces filtres vérifient les termes des contrats définis par les producteurs et les consommateurs, relatifs aux exigences et aux garanties de qualité de contexte et de respect de la vie privée, et contrôlent les flux d'informations de manière dynamique et adaptative. En outre, cette approche facilite les traitements complexes d'informations de contexte [32].

Dans un second temps, nous proposons le passage à l'échelle localisé (en anglais, *localised scalability*), c'est-à-dire un passage à l'échelle qui prend en compte les distances pour contrôler la distribution des données [78]. Pour ce faire, nous associons le concept d'échelle au concept de portée de distribution (en anglais, *scope*) [38, 37], pour définir le concept de « distribution multiéchelle » afin d'exprimer que la portée de distribution d'une notification est contrainte selon plusieurs critères, c'est-à-dire dans plusieurs zones logiques correspondant chacune à une échelle dans une dimension d'un point de vue de l'architecture répartie.

1. <https://fusionforge.int-evry.fr/www/musca/>

Nous avons défini et prouvé l’algorithme de routage réparti [30] et notre solution est mise en œuvre par le cadriciel MUDEBS² [47, 22].

3.3 Identification de situations par approche hybride ontologie et SMA adaptatifs

Les techniques généralement employées pour identifier les situations utilisent des algorithmes d’apprentissage automatique à partir des données de contexte [72, 69, 70] ou sont axées sur la connaissance et utilisent des règles logiques et des mécanismes de raisonnement [71, 86, 20]. Dans INCOME, nous mixons données de l’IoT et données issues de bases de connaissances dans une architecture hybride qui associe ontologies et SMA adaptatifs. L’approche ontologique fournit un haut niveau d’abstraction et de formalisation pour la spécification des situations, mais la création d’un modèle en écrivant manuellement de nouvelles règles ou en modifiant l’existant est un processus trop laborieux et sujet aux erreurs. Pour assister ce processus, le SMA adaptatif ajuste en ligne les règles existantes et apprend de nouvelles situations par auto-organisation.

Notre solution, le système MUSIC, intègre les deux approches pour identifier les types de situations connus et en apprendre de nouveaux [41]. La contribution principale est le processus d’« agentification » des règles déductives afin d’affiner les types de situation déjà connus et d’identifier les cas imprévus. MUSIC utilise les retours négatifs des utilisateurs pour corriger ou ajuster une règle : c’est le *tuning*. Ce mécanisme permet de corriger rapidement une règle dans le cas où elle est proche d’une règle correcte. En revanche, lorsque la différence est significative, le seul mécanisme de *tuning* est insuffisant. Dans ce cas, MUSIC reçoit plusieurs retours et apprend progressivement les prémisses d’une nouvelle règle, c’est-à-dire un nouveau type de situation pour lequel il ne connaît pas de règle associée. Il revient à un concepteur humain de valider le type de situation détecté et de construire la règle correspondante, cette règle étant elle-même agentifiée et intégrée au SMA. Le processus d’évolution assiste ainsi la création de nouvelles règles. L’apprentissage est continu et permet d’adapter dynamiquement les règles ou de détecter de nouvelles situations lorsque le comportement de l’utilisateur évolue.

3.4 Qualification et protection des informations de contexte

En réponse aux capacités accrues de collecte d’informations par l’IoT [82] il est fondamental d’offrir des mécanismes permettant de garantir le respect de la vie privée pour favoriser l’acceptabilité par les utilisateurs. Cependant, la protection des données de contexte est un sujet encore souvent négligé [11]. Ceci peut s’expliquer par l’existence de nombreuses solutions de sécurité efficaces, notamment en termes de contrôle d’accès et de chiffrement. Néanmoins, les solutions disponibles ne considèrent en général pas les spécificités des données de contexte ni les méta-données de QoC qui leur sont associées. Ces méta-données apportent des indications supplémentaires qui peuvent être exploitées pour la protection de la vie privée.

L’une des difficultés est alors de traiter les potentiels antagonismes entre, d’une part, les contraintes impliquées par la demande d’un niveau de QoC satisfaisant pour permettre des décisions pertinentes lors de l’adaptation au contexte et, d’autre part, la nécessité de garantir la protection des données fournies par les utilisateurs : par exemple, le producteur est contraint par le respect de la vie privée qui implique de brouiller l’information de localisation, alors même que le consommateur demande un niveau de précision le plus élevé possible pour la localisation.

2. <https://fusionforge.int-evry.fr/www/mudebs/>

Pour la gestion conjointe de la vie privée et de la qualité de contexte [23], nous proposons des contributions intégrées dans trois cadres.

Premièrement, QOCIM³ est un cadre pour la gestion de bout en bout de la qualité des informations de contexte [53, 57, 25]. Il propose une solution générique, calculable et expressive basée sur un métamodèle regroupant la notion de contrat de qualité et la notion de définition de critère de qualité.

Deuxièmement, MUCONTEXT⁴ permet la définition de contrats symétriques pour les exigences et garanties de qualité de contexte et de respect de la vie privée. L'expression des politiques est traduite dans le modèle ABAC (Attribute-Based Access Control) [31] et mise en œuvre avec le langage standardisé XACML (eXtensible Access Control Markup Language) [48, 50]. Le modèle ABAC a été choisi en raison de sa flexibilité pour prendre en compte des informations de contexte au moyen d'attributs.

Troisièmement, KAPUER est un système d'aide à la décision multicritères qui assiste, par apprentissage, l'utilisateur non spécialiste dans la mise en place de politiques de contrôle d'accès pour protéger ses données privées [61, 67, 65].

3.5 Processus et infrastructure de déploiement

Aucune solution pour le déploiement de systèmes logiciels répartis ne propose un processus complet allant de la conception à la réalisation automatisée, permettant la découverte des appareils hôtes et capable d'adapter dynamiquement le déploiement en fonction de la présence et de l'état des appareils. Certaines solutions permettent la spécification d'un plan de déploiement [43, 83] mais proposent peu d'abstraction par rapport au domaine (l'ensemble des appareils hôtes) et ne prennent en compte la notion d'échelle que de façon très limitée [49]. Concernant la réalisation, à l'exception de [21], aucune ne répond à la fois aux problèmes de dynamique, de nombre et d'hétérogénéité. Plusieurs proposent néanmoins des infrastructures décentralisées [52, 49, 40], voire autonomes. Parmi ces dernières, ADME [33] est la plus avancée, mais le domaine doit être défini statiquement et les révisions du plan de déploiement sont calculées de manière centralisée.

Notre contribution pour le déploiement de systèmes de composants logiciels sur des infrastructures d'exécution multiéchelles [15, 5] consiste en un processus complet de déploiement, un langage dédié, MUSCADEL, pour la description abstraite du déploiement sans connaissance exacte du domaine et au moyen de constructions dédiés aux caractéristiques multiéchelles [17], et un intergiciel, MUSCADEM⁵ [76], pour la mise en œuvre du déploiement adaptatif, décentralisé et autonome [45]. En outre, la description abstraite s'appuie directement sur la caractérisation multiéchelle du système à déployer [19]. Notre solution n'est pas spécialisée pour le système de gestion de contexte mais générique dans le cadre des systèmes répartis multiéchelles.

3.6 Démonstrateur 4ME

Le démonstrateur 4ME (MultiModal, Mobilité, MultiEchelle) est un système de guidage porte-à-porte en milieu urbain destiné aux usagers de transports multimodaux (pédestre, véhicules personnels, vélos en libre-service, transports en commun) qui assure un accès ubiquitaire en temps réel aux informations en provenance d'objets communicants ou de serveurs dits en *open data* pour proposer des itinéraires adaptés à la situation des utilisateurs. Les processus de conception ainsi que les briques logicielles produites dans le projet et intégrées

3. <https://fusionforge.int-evry.fr/www/qocim/>

4. <https://fusionforge.int-evry.fr/www/mucontext/>

5. <http://lii-enac.fr/muscadem/>

à 4ME ont supporté et facilité le développement de cet ensemble de services pour la ville intelligente [34].

Le démonstrateur et un scénario complet sont présentés dans une vidéo en ligne⁶ de 8mn qui synthétise et vulgarise les résultats du projet.

4 Retombées du projet

4.1 Publications et animations scientifiques

Au niveau académique, les travaux ont donné lieu à sept articles de revues internationales [26, 17, 4, 57, 48, 67, 12] et à un article de revue nationale [63], à treize communications dans des conférences internationales [6, 54, 16, 19, 76, 55, 58, 47, 22, 62, 51, 66] dont un poster [46], à douze communications dans des conférences nationales [7, 59, 10, 9, 18, 44, 8, 74, 60, 64, 75, 24], à un chapitre de livre [56] et à la réalisation de cinq thèses de doctorat [61, 15, 73, 50, 53].

Des membres du projet INCOME ont organisé en coordination avec la communauté scientifique les deux premières éditions du workshop « Middleware for Context-Aware Applications in the IoT » de « ACM/IFIP/USENIX International Middleware Conference » (à Bordeaux en décembre 2014, à Vancouver en Décembre 2015). D'autre part, des membres du projet sont éditeurs du numéro spécial « Middleware for Internet distribution in the context of cloud computing and the Internet of Things » de la revue « Annals of telecommunications » [13]. Par ailleurs, nous avons été sollicités par les organisateurs de la prochaine édition de la conférence CONTEXT qui aura lieu en 2017 à Paris pour animer le workshop QAMUCA « Quality Awareness in Modeling and Using Context in Applications »⁷.

4.2 Collaborations internationales

Suite au projet INCOME, Télécom SudParis a démarré une collaboration avec l'équipe DIMA de Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil autour du thème « Middleware pour l'Internet des objets ». Des travaux sont notamment en cours sur l'intégration du modèle de qualité de contexte QoCIM dans un service de découverte pour l'IoT.

Nos contributions en modélisation de la qualité de contexte ont été référencées par des travaux sur le langage MLContext spécifique au domaine de la gestion de contexte par une équipe de la faculté d'Informatique de l'Université de Murcie en Espagne et des collaborations sont envisagées.

4.3 Logiciels à la disposition de la communauté

Bien que le projet INCOME soit exploratoire et que la réalisation de produits logiciels ne soit pas un objectif premier, plusieurs logiciels développés dans le cadre du projet sont à disposition de la communauté : MUSCA⁸, MUDEBS⁹, MUCONTEXT¹⁰, QOCIM¹¹ et MUSCADEM¹² sont des logiciels libres sous licence LGPL.

En outre, en octobre 2013, une démarche de valorisation a été engagée autour du système Kapuer d'aide à la décision pour la protection des données de vie privée avec l'appui de Toulouse Tech Transfer (TTT). Après plusieurs études et notamment une étude marché, TTT a décidé de ne pas poursuivre cette démarche de valorisation

6. https://www.youtube.com/watch?v=iGx03mdj_Rk

7. <http://context17.lip6.fr/workshops.php>

8. <https://fusionforge.int-evry.fr/www/musca/>

9. <https://fusionforge.int-evry.fr/www/mudebs/>

10. <https://fusionforge.int-evry.fr/www/mucontext/>

11. <https://fusionforge.int-evry.fr/www/qocim/>

12. <http://lii-enac.fr/muscadem/>

4.4 Retombées industrielles

Aujourd'hui acteur innovant dans les domaines du transport et de l'information touristique (projets Autopartage, WMC demonstrator, Nestplorer, etc.), notamment grâce à sa maîtrise de l'intégration de systèmes répartis et des technologies de la géolocalisation, ARTAL cherche à innover davantage dans ces domaines grâce aux connaissances que la société vient d'acquérir dans le projet INCOME. Ce projet renforce la stratégie de recherche et développement du département NTIC qui fédère les activités de géolocalisation et de communication en situation de mobilité.

ARTAL a entrepris plusieurs actions à destination de différents partenaires industriels ou non industriels : développeurs d'applications, fournisseurs d'informations et de services, producteurs de données brutes. . . Des contacts sont en cours avec Toulouse Métropole, avec qui ARTAL a déjà collaboré dans le cadre du projet Autopartage, Tisséo, opérateur des transports en commun de l'agglomération toulousaine et l'association IoT Valley¹³. Les résultats du projet INCOME ont aussi été présentés lors de plusieurs manifestations, notamment au congrès international ITS (« Intelligent Transport Systems ») en Octobre 2015 à Bordeaux et au séminaire « Les Objets Connectés, du capteur aux applications » organisé par Evry Sciences et Innovation en mars 2016. Ces différentes actions aideront ARTAL dans la définition d'un futur produit en accord avec les besoins du marché. En parallèle, dans le but de donner de la visibilité au projet et de toucher de nouveaux clients, ARTAL envisage de mettre à disposition des composants issus du projet sur la plateforme IBM Bluemix¹⁴ qui permet la construction d'application « as a service » sur la base de composants.

Durant les différentes phases de projet, ARTAL a engagé deux ingénieurs. La société souhaite maintenant utiliser l'expérience acquise pour se développer en proposant à ses partenaires et clients les résultats du projet ainsi que son expertise en matière de développement de systèmes d'information mobiles basés sur l'intégration d'informations de contexte multiéchelle. De plus, le développement d'un nouvel axe de recherche du département NTIC, ciblé autour des technologies déportées (*Cloud* et *Big Data*), pourrait conduire à réutiliser directement les résultats du projet INCOME dans de nouvelles applications.

4.5 Diffusion dans le cadre d'unités d'enseignement

Les résultats scientifiques, et plus particulièrement les logiciels développés dans le cadre d'INCOME, ont enrichi nos formations universitaires. Ils sont utilisés dans le module « Objets connectés intergiciels » du parcours iLoRD (« ingénierie du Logiciel des Réseaux et des Systèmes Distribués ») du Master Réseaux et Télécoms l'Université de Toulouse ainsi que dans les modules « Middleware for distributed Applications » et « Intergiciels pour applications ambiantes dans le contexte de l'Internet des objets » des Masters CCN (« Computer and Communication Networks ») et CILS (« Conception et Intelligence des Logiciels et Systèmes ») de l'Université Paris Saclay.

5 Discussion

L'ambition du projet INCOME était de proposer un ensemble de méthodes et d'outils permettant de concevoir, de réaliser et de déployer une infrastructure logicielle générique pour la gestion de contexte multiéchelle, dans le but de faciliter l'émergence d'applications et de services grand public sensibles au contexte construits au-dessus de l'Internet des objets. Pour cela, le programme scientifique était organisé en 3 volets : (*i*) la gestion de contexte

13. <http://www.iot-valley.fr/>

14. <https://console.ng.bluemix.net/>

multiéchelle (volet fonctionnel), (ii) la prise en compte de la qualité de contexte et le respect de la vie privée (volet extrafonctionnel), (iii) le déploiement autonome des entités de gestion de contexte (volet opérationnel). En outre, le travail s'est appuyé sur un état de l'art [2], la définition d'un scénario de référence et une analyse des exigences [3].

Les systèmes visés étant répartis sur différents équipements matériels, réseaux, zones géographiques, ou encore groupes sociaux, il est apparu le besoin de mieux maîtriser leur complexité (hétérogénéité, répartition, dynamique, nombre, niveaux d'interaction multiples...). C'est en réponse à ce problème et afin de faciliter la conception, la réalisation et le déploiement de ces systèmes, que nous avons défini et outillé le processus de caractérisation multiéchelle. L'ingénierie dirigée par les modèles supporte ce processus et, pour partie, le contrôle des flots de données et le déploiement par transformation de modèles, mais aussi la définition des critères de qualité de contexte et la conception du déploiement.

En matière d'architecture et de contrôle des flux de données, mais aussi de déploiement et d'identification de situations, les solutions proposées se démarquent de l'état de l'art par une approche fortement décentralisée de nature à mieux répondre aux exigences de répartition, de dynamique et d'ouverture. On peut noter que durant la période sur laquelle s'est déroulé le projet, de nombreuses plateformes pour l'Internet des objets ont vu le jour. En ce qui concerne la répartition des données et des traitements, la plupart utilisent le paradigme de « Cloud of Things », (parmi lesquelles OpenIoT¹⁵ [68] et Fi-Ware¹⁶). Récemment, certains travaux de recherche concernant l'IoT (par exemple [1]) ont proposé une vision décentralisée de la plateforme. L'architecture de gestion de contexte décentralisée d'INCOME s'inscrit dans une tendance de fond qui vise à réduire les temps de réponse des applications en plaçant les traitements au plus proche des utilisateurs : le Fog Computing [14, 87] mis en avant par Cisco Systems et les centres de données de proximité proposés par Microsoft [80] en sont des exemples représentatifs. Dans des travaux futurs, la reconfigurabilité de la distribution des courtiers sera à reconsidérer dans un contexte d'accroissement de la mobilité des clients et courtiers.

Il faut souligner certains aspects innovants de notre approche comme l'intégration en une solution unique de la gestion de la QoC et de la protection des données en réponse à un problème ouvert au début du projet [27], et l'association originale des approches déductives à base d'ontologies et des systèmes multi-agents adaptatifs pour la détection de situations. Nous tenons à souligner la généralité de différentes solutions proposées potentiellement applicables au-delà de la gestion de contexte répartie pour les services au dessus de l'IoT. Notamment, la caractérisation multiéchelle et la solution de déploiement peuvent faciliter la conception et la mise en œuvre d'autres systèmes répartis complexes. La détection de situations par apprentissage dynamique a, quant à elle, une large palette d'applications.

Pour terminer, on peut noter que, la part du travail consacré à la modélisation et à la conception ayant été plus importante que prévu initialement, la validation n'a pas été faite en situation réelle sur la base d'un scénario d'usage comme cela était envisagé lorsque le projet a été soumis en 2011. En revanche, les propositions innovantes faites par INCOME ont été expérimentées et ont montré leur pertinence au regard des exigences identifiées dans le cadre du développement d'un démonstrateur pour la ville intelligente.

6 Conclusions

L'Internet des objets donne une nouvelle dimension à l'Internet classique. Cette nouvelle dimension est caractérisée notamment par l'accroissement du nombre d'entités connectées et l'hétérogénéité de ces entités. L'Internet des objets ouvre de nombreuses opportunités

15. *Open Source Cloud solution for the Internet of Things*, projet collaboratif FP7 2011-2014

16. *Future Internet Core Platform*, projet intégré FP7 2011-2014

de construction de nouveaux services à haute valeur ajoutée dans de nombreux domaines. Cependant, les concepteurs de ces services doivent prendre en main des systèmes de plus en plus complexes.

Dans le projet INCOME, nous étudions plus particulièrement le service intergiciel de gestion de contexte, c'est-à-dire le traitement et l'acheminement des informations en provenance de l'Internet des objets entre des producteurs et des consommateurs d'informations fortement découplés. Nous considérons l'ensemble du cycle de vie des gestionnaires de contexte depuis leur conception jusqu'à leur déploiement. Nous proposons des processus de conception, des langages spécifiques ainsi que des outils logiciels génériques pour une meilleure maîtrise de la complexité des systèmes dans un contexte fortement décentralisé et hétérogène.

Nous organisons le filtrage en temps réel de vastes flots de données supporté par un système réparti à base d'événements qui prévoit des portées de diffusion multiples définies par une caractérisation multiéchelle du système. Pour répondre à l'accès ouvert aux informations, nous prenons en considération les préoccupations de respect de la vie privée des utilisateurs finaux et de gestion de qualité de contexte dans le filtrage des informations. Ses préoccupations sont traitées d'une part par la définition et la gestion de contrat de bout en bout et d'autre part par un système d'apprentissage pour faciliter la définition des contrats de vie privée par les utilisateurs finaux. Nous ajoutons par ailleurs des systèmes d'apprentissage pour identifier de nouvelles situations pertinentes pour les usagers.

Les propositions INCOME se démarquent de l'état de l'art par une approche fortement décentralisée. Cette approche reste à valider quantitativement dans le cadre de déploiements *in situ* de services pour l'Internet des objets. Les processus de conception et les outils logiciels ont été évalués qualitativement à travers un démonstrateur pour le guidage porte à porte des usagers de transports multimodaux dans la ville intelligente. Cette évaluation a démontré leur apport à la mise en œuvre et au déploiement de nouveaux services au dessus de l'Internet des objets.

Références

- [1] Mohammad Aazam and Eui-Nam Huh. Fog computing micro datacenter based dynamic resource estimation and pricing model for iot. In *29th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA 2015, Gwangju, South Korea, March 24-27, 2015*, pages 687–694, 2015. 10
- [2] J.-P. Arcangeli, R. Boujbel, A. Bouzeghoub, V. Camps, S. Chabridon, D. Conan, T. Desprats, V. Guivarch, R. Laborde, E. Lavinal, S. Leriche, A. Oglaza, A. Péninou, S. Rotenberg, C. Taconet, and P. Zaraté. Multi-scale context management : Concepts, Definitions, and State of the art. ANR INFRA INCOME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 2.1, december 2012. 10
- [3] J.-P. Arcangeli, R. Boujbel, A. Bouzeghoub, V. Camps, S. Chabridon, D. Conan, T. Desprats, V. Guivarch, R. Laborde, E. Lavinal, S. Leriche, A. Oglaza, A. Péninou, S. Rotenberg, C. Taconet, and P. Zaraté. Scénarios et exigences. ANR INFRA INCOME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 2.1, may 2013. 10
- [4] Jean-Paul Arcangeli, Raja Boujbel, and Sebastien Leriche. Automatic deployment of distributed software systems : Definitions and state of the art. *Journal of Systems and Software*, 103 :198–218, May 2015. 4, 8
- [5] Jean-Paul Arcangeli, Raja Boujbel, and Sébastien Leriche. Infrastructure logicielle de déploiement du gestionnaire de contexte — Version 2. ANR INFRA INCOME Infra-

structure de gestion de COntexte Multi-Échelle pour l'Internet des Objets Tâche 5.1, juin 2016. 7

- [6] Jean-Paul Arcangeli, Amel Bouzeghoub, Valérie Camps, Marie-Françoise Canut, Sophie Chabridon, Denis Conan, Thierry Desprats, Romain Laborde, Sébastien Leriche, Hervé Maurel, André Peninou, Chantal Taconet, and Pascale Zaraté. INCOME : multi-scale context management for the internet of things. In Springer, editor, *AmI'12 : International Joint Conference on Ambient Intelligence*, volume 7683, pages 338 – 347, Heidelberg;Dordrecht ;London [etc.], 2012. Collection : Lecture Notes in Computer Science. 8
- [7] Jean-Paul Arcangeli, Amel Bouzeghoub, Valérie Camps, Marie-Françoise Canut, Sophie Chabridon, Denis Conan, Thierry Desprats, Romain Laborde, Sébastien Leriche, Hervé Maurel, André Peninou, Chantal Taconet, and Pascale Zaraté. Projet INCOME : INfrastructure de gestion de COntexte Multi-Échelle pour l'Internet des Objets . In Cépaduès, editor, *Ubimob'12 : 8èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité*, pages 46 – 48, Anglet, June 2012. 8
- [8] Jean-Paul Arcangeli, Amel Bouzeghoub, Valérie Camps, Sophie Chabridon, Denis Conan, Thierry Desprats, Romain Laborde, Emmanuel Lavinal, Sébastien Leriche, Hervé Maurel, Mohamed Mbarki, André Péninou, Chantal Taconet, Pascale Zaraté, Raja Boujbel, Léon Lim, Samer Machara Marquez, Pierrick Marie, Clément Mignard, Arnaud Oglaza, and Sam Rottenberg. Projet INCOME : INfrastructure de gestion de COntexte Multi-Echelle pour l'Internet des Objets (short paper). In *Conférence Francophone sur les Architectures Logicielles (CAL), Paris, 10/06/2014-11/06/2014*, page (en ligne), <http://www.enseeiht.fr>, juin 2014. ENSEEIHT. 8
- [9] Jean-Paul Arcangeli, Amel Bouzeghoub, Valérie Camps, Sophie Chabridon, Denis Conan, Thierry Desprats, Romain Laborde, Sébastien Leriche, Pierrick Marie, Mohamed Mbarki, André Péninou, Chantal Taconet, and Pascale Zaraté. Le projet ANR INCOME, processus et outils logiciels pour des gestionnaires de contexte au dessus de l'Internet des objets. In *Ubimob2016 : 11èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité*, pages 1 – 8, Lorient, June 2016. 8
- [10] Jean-Paul Arcangeli, Sophie Chabridon, Denis Conan, Thierry Desprats, Romain Laborde, Sébastien Leriche, Léon Lim, Chantal Taconet, Raja Boujbel, Samer Machara Marquez, Pierrick Marie, and Sam Rottenberg. Gestion de contexte multi-échelle pour l'Internet des objets. In *Ubimob'14 : 10èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité*, pages 1 – 8, Sophia-Antipolis, June 2014. 8
- [11] P. Bellavista, A. Corradi, M. Fanelli, and L. Foschini. A Survey of Context Data Distribution for Mobile Ubiquitous Systems. *ACM Computing Surveys*, 44(4) :24:1–24:45, August 2012. 5, 6
- [12] Gordon Blair, Douglas Schmidt, and Chantal Taconet. Middleware for Internet distribution in the context of cloud computing and the Internet of Things (editorial introduction). *Annals of Telecommunications*, 71(3) :87 – 92, April 2016. 8
- [13] Gordon Blair, Douglas Schmidt, and Chantal Taconet. *Middleware for Internet distribution in the context of cloud computing and the Internet of Things (special issue)*, volume 71, issue 3-4 of *Annals of Telecommunications*. Springer, 2016. 8
- [14] Flavio Bonomi, Rodolfo Milito, Jiang Zhu, and Sateesh Addepalli. Fog computing and its role in the internet of things. In *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, MCC '12, pages 13–16, New York, NY, USA, 2012. ACM. 10

- [15] Raja Boujbel. *Déploiement de systèmes répartis multi-échelles : processus, langage et outils intergiciels*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Toulouse, France, janvier 2015. 7, 8
- [16] Raja Boujbel, Sébastien Leriche, and Jean-Paul Arcangeli. A DSL for Multi-Scale and Autonomic Software Deployment . In Luigi Lavazza, Roy Oberhauser, Adriana Martin, Jameleddine Hassine, and Michael Gebhart, editors, *ICSEA - International IARIA Conference on Software Engineering Advances*, pages 291–296, Venice, Italy, October 2013. 8
- [17] Raja Boujbel, Sébastien Leriche, and Jean-Paul Arcangeli. A Framework for Autonomic Software Deployment of Multiscale Systems. *International Journal on Advances in Software*, 7(1 & 2) :353–369, 2014. 7, 8
- [18] Raja Boujbel, Sébastien Leriche, Jean-Paul Arcangeli, and Oudom Kem. Formalisation de l’expression d’un plan de déploiement autonome à base de contraintes (regular paper). In *Journées francophones Mobilité et Ubiquité (UBIMOB), Sophia-Antipolis, 05/06/2014-06/06/2014*, page (en ligne), <http://www.i3s.unice.fr>, juin 2014. Laboratoire i3S. 8
- [19] Raja Boujbel, Sam Rottenberg, Sébastien Leriche, Chantal Taconet, Jean-Paul Arcangeli, and Claire Lecocq. MuScADeL : A Deployment DSL based on a Multiscale Characterization Framework (regular paper). In *IEEE International Workshop on Modeling and Verifying Distributed Applications (MVDA), Vasteras, 21/07/2014-25/07/2014*, pages 708–715. IEEE Computer Society, juillet 2014. 5, 7, 8
- [20] A. Bouzeghoub, K.N. Do, and L.K. Wives. Situation-aware adaptive recommendation to assist mobile users in a campus environment. *Advanced Information Networking and Applications, International Conference on*, 0 :503–509, 2009. 6
- [21] Laurent Broto, Daniel Hagimont, Patricia Stolf, Noel De Palma, and Suzy Temate. Autonomic management policy specification in Tune. In Roger L. Wainwright and Hisham Haddad, editors, *23rd Annual Symposium on Applied Computing (SAC 2008)*, pages 1658–1663. ACM, 2008. 7
- [22] Sophie Chabridon, Denis Conan, Thierry Desprats, Mohamed Mbarki, Chantal Taconet, Léon Lim, Pierrick Marie, and Sam Rottenberg. A Framework for Multiscale-, QoC- and Privacy-aware Context Dissemination in the Internet of Things. In *Proc. 11th EAI International Conference on Collaborative Computing : Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom) November 10-11, 2015, Wuhan, People’s Republic of China*, November 2015. 6, 8
- [23] Sophie Chabridon, Thierry Desprats, Romain Laborde, Samer Machara Marquez, Pierrick Marie, Arnaud Oglaza, Chantal Taconet, and Pascale Zaraté. Models of Quality and Protection of Multiscalable Context Information. ANR INFRA INCOME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 4.1, july 2013. 7
- [24] Sophie Chabridon, Thierry Desprats, Romain Laborde, Chantal Taconet, and Pascale Zaraté. Gestion de contexte dans l’Internet des objets : analyse de l’interdépendance entre protection de la vie privée et qualité de contexte. In *4e Atelier sur la Protection de la Vie Privée (APVP), Atelier national sans actes*, Les Loges en Josas, June 2013. 8
- [25] Sophie Chabridon, Thierry Desprats, and Pierrick Marie. Modèle de configurabilité de la gestion de la qualité de contexte. ANR INFRA INCOME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 4.2, mai 2014. 7
- [26] Sophie Chabridon, Romain Laborde, Thierry Desprats, Arnaud Oglaza, Pierrick Marie, and Samer Machara Marquez. A survey on addressing privacy together with

- quality of context for context management in the internet of things. *Annals of Telecommunications*, 69, Issue 1, ON LINE FIRST SINCE 2013, AUGUST 17, <http://dx.doi.org/10.1007/s12243-013-0387-2> :47 – 62, February 2014. 8
- [27] S. Chakraborty, H. Choi, and M.B. Srivastava. Demystifying Privacy In Sensory Data : A QoI based approach. In *Proceedings the Third Int. Workshop on Information Quality and Quality of Service for Pervasive Computing (IQ2S'11)*, as part of *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'11)*, Seattle, WA, USA, March 2011. 10
- [28] Xing Chen, Aipeng Li, Xue'e Zeng, Wenzhong Guo, and Gang Huang. Runtime model based approach to IoT application development. *Frontiers of Computer Science*, 9(4) :540–553, 2015. 4
- [29] ARTIK Cloud. Samsung artik cloud. <https://developer.artik.cloud/>, 2016. 5
- [30] Denis Conan, Sophie Chabridon, Thierry Desprats, Romain Laborde, Lim Léon, Pier-rick Marie, Atif Manzoor, Sam Rottenberg, Chantal Taconet, Li Xuan, and Jing Zhu. Architecture of Multiscalable Context Management — Version 2. ANR INFRA IN-COME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 3.1, december 2014. 6
- [31] M. Covington and M. Sastry. A Contextual Attribute-Based Access Control Model. In *Proc. OTM workshops on the move to meaningful Internet systems*, pages 1996–2006, 2006. 7
- [32] G. Cugola and A. Margara. Processing Flows of Information : From Data Stream to Complex Event Processing. *ACM Computing Surveys*, 44(3) :15:1–15:62, June 2012. 5
- [33] Alan Dearle, Graham N. C. Kirby, and Andrew McCarthy. A middleware framework for constraint-based deployment and autonomic management of distributed applications. *CoRR*, abs/1006.4733, 2010. 7
- [34] Mohamed Mbarki et al. Rapport de validation. ANR INFRA INCOME INfrastructure de gestion de COntexte Multi-Échelle pour l'Internet des Objets Tâche 6.2, juin 2016. 8
- [35] Opher Etzion and Peter Niblett. *Event Processing in Action*. Manning Publications Co., Greenwich, CT, USA, 1st edition, 2010. 5
- [36] P.T. Eugster, P.A. Felber, R. Guerraoui, and A.-M. Kermarrec. The Many Faces of Publish/Subscribe. *ACM CS*, 35(2), June 2003. 5
- [37] L. Fiege, M. Cilia, and B.C. Mühl. Publish-subscribe grows up : Support for management, visibility control, and heterogeneity. *IEEE Int. Comp.*, 10(1), January 2006. 5
- [38] L Fiege, M. Mezini, G. Mühl, and A. Buchmann. Engineering Event-Based Systems with Scopes. In B. Magnusson, editor, *Proc. 16th European Conference on Object-Oriented Programming*, volume 2374 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 309–333, Málaga, Spain, June 2002. Springer-Verlag. 5
- [39] Robert France and Bernhard Rumpe. Model-driven Development of Complex Software : A Research Roadmap. In *2007 Future of Software Engineering, FOSE'07*, pages 37–54, Washington, DC, USA, 2007. IEEE Computer Society. 5
- [40] Patrick Goldsack, Julio Guijarro, Steve Loughran, Alistair N. Coles, Andrew Farrell, Antonio Lain, Paul Murray, and Peter Toft. The SmartFrog configuration management framework. *Operating Systems Review*, 43(1) :16–25, 2009. 7
- [41] Valérian Guivarch, Valérie Camps, André Péninou, and Amel Bouzeghoub. Software integrating AMAS and ontologies for dynamic identification and learning of contextual

- situations — Version 1. ANR INFRA INCOME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 3.2, July 2015. 6
- [42] IEEE. IEEE Standard for Ubiquitous Green Community Control Network Protocol. International Standard IEEE-1888 :2014, ISO/IEC/IEEE Joint Technical Committee, March 2014. 5
- [43] Gideon Juve and Ewa Deelman. Automating Application Deployment in Infrastructure Clouds. In *IEEE Third Int. Conf. on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2011)*, pages 658–665, 2011. 7
- [44] Oudom Kem, Raja Boujbel, and Sébastien Leriche. Récupération de l'état d'un domaine de déploiement (poster). In *Journées francophones Mobilité et Ubiquité (UBIMOB), Sophia-Antipolis, 05/06/2014-06/06/2014*, page (en ligne), <http://www.i3s.unice.fr>, juin 2014. Laboratoire i3S. 8
- [45] J.O. Kephart and D.M. Chess. The Vision of Autonomic Computing. *IEEE Computer*, 36(1), January 2003. 7
- [46] L. Lim and D. Conan. Poster : Concept of Multiscoping for Distributed Event-Based Systems. In *Proc. of the 9th ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems*, Oslo, Norway, July 2015. 8
- [47] Léon Lim and Denis Conan. Distributed Event-Based System with Multiscoping for Multiscalability. In *9th Middleware Workshop on Middleware for Next Generation Internet Computing (M4WNG), 15th International Middleware Conference*, pages 8–12, Bordeaux, France, December 2014. ACM. 5, 6, 8
- [48] Léon Lim, Pierrick Marie, Denis Conan, Sophie Chabridon, Thierry Desprats, and Atif Manzoor. Enhancing context data distribution for the internet of things using qoc-awareness and attribute-based access control. *Annals of Telecommunications - Annales des Télécommunications*, ON LINE FIRST SINCE 2015, OCTOBER 13 :1–12, 2015. 7, 8
- [49] Christine Louberry, Philippe Roose, and Marc Dalmau. Kalimucho : Contextual Deployment for QoS Management. In Pascal Felber and Romain Rouvoy, editors, *Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS 2011)*, pages 43–56, 2011. 7
- [50] Samer Machara Marquez. *Models and algorithms for managing quality of context and respect for privacy in the Internet of Things*. Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay, Télécom SudParis, November 2015. (Soutenance le 17/11/2015). 7, 8
- [51] Samer Machara Marquez, Sophie Chabridon, and Chantal Taconet. Trust-based Context Contract Models for the Internet of Things. In *The 2013 International Symposium on Ubiquitous Intelligence and Autonomic Systems (UIAS'2013)*, pages 115 – 120, Vietri Sul Mare, Italy, December 2013. In conjunction with The 10th IEEE International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC'2013) and The 10th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (ATC'2013). 8
- [52] Umar Manzoor and Samia Nefti. QUIET : A Methodology for Autonomous Software Deployment using Mobile Agents. *J. Network and Computer Applications*, 33(6) :696–706, 2010. 7
- [53] Pierrick Marie. *Gestion de bout en bout de Qualité de Contexte pour l'Internet des Objets : la cadriciel QoCIM*. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, novembre 2015. (Soutenance le 30/11/2015). 7, 8
- [54] Pierrick Marie, Thierry Desprats, Sophie Chabridon, and Michelle Sibilla. QoCIM : a meta-model for quality of context. In Patrick Brézillon, Patrick Blackburn, and Richard Dapoigny, editors, *CONTEXT'13 : Eighth International and Interdisciplinary*

- Conference on Modeling and Using Context, Annecy, France, October 28-31*, volume 8175 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2013. 8
- [55] Pierrick Marie, Thierry Desprats, Sophie Chabridon, and Michelle Sibilla. Extending Ambient Intelligence to the Internet of Things : New Challenges for QoC Management. In Ramon Hervas, Sungyoung Lee, Chris D. Nugent, and Jose Bravo, editors, *8th International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence on Personalisation and User Adapted Services (UCAmI), Belfast, UK, 02/12/2014-05/12/2014*, number 8867 in *Lecture Notes in Computer Science*, pages 224–231, <http://www.springerlink.com>, December 2014. Springer. 8
- [56] Pierrick Marie, Thierry Desprats, Sophie Chabridon, and Michelle Sibilla. The QoCIM Framework : Concepts and Tools for Quality of Context Management. In Patrick Brezillon and Avelino Gonzalez, editors, *Context in Computing : A Cross-disciplinary Approach for Modeling the Real World*, Science+Business Media, chapter 11, pages 155–172. Springer Verlag, New York, December 2014. 8
- [57] Pierrick Marie, Thierry Desprats, Sophie Chabridon, Michelle Sibilla, and Chantal Taconet. From Ambient Sensing to IoT-based Context Computing : An Open Framework for End to End QoC Management. *Sensors*, 15(6) :14180–14206, 2015. 7, 8
- [58] Pierrick Marie, Léon Lim, Atif Manzoor, Sophie Chabridon, Denis Conan, and Thierry Desprats. QoC-Aware Context Data Distribution in the Internet of Things. In *1st ACM Workshop on Middleware for Context-Aware Applications in the IoT (M4IOT) (in conjunction with the 15th International Middleware Conference)*, Bordeaux, pages 13–18, <http://www.acm.org/>, December 2014. ACM. 8
- [59] Pierrick Marie, Desprats Thierry, Sophie Chabridon, and Michèle Sibilla. QoCIM : Un méta-modèle de qualité de contexte. In *Ubimob’13 : 9èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité*, Nancy, June 2013. 8
- [60] Nadia Masmoudi and Denis Conan. Contrats de contexte pour la gestion de contexte répartie. In *Ubimob’13 : 9èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité*, Nancy, June 2013. 8
- [61] Arnaud Oglaza. *Système d’aide à la décision pour la protection des données de vie privée*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Toulouse, France, septembre 2014. (Soutenance le 12/09/2014). 7, 8
- [62] Arnaud Oglaza, Romain Laborde, and Pascale Zaraté. Authorization Policies : Using Decision Support System for Context-Aware Protection of User’s Private Data. In *The 5th IEEE International Symposium on UbiSafe Computing (UbiSafe) in conjunction with the 12th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, pages 1639 – 1644, July 2013. 8
- [63] Arnaud Oglaza, Romain Laborde, and Pascale Zaraté. Kapuer : un assistant à l’écriture de politiques d’autorisation pour la protection de la vie privée. *Ingénierie des Systèmes d’Information*, vol. 19(6) :pp. 91–115, 2014. 8
- [64] Arnaud Oglaza, Romain Laborde, and Pascale Zaraté. Système d’aide à la décision pour la protection des données de vie privée de l’utilisateur. In *Congrès annuel de la Société française de recherche opérationnelle et d’aide à la décision (ROADEF)*, February 2014. 8
- [65] Arnaud Oglaza, Romain Laborde, and Pascale Zaraté. Modèle de contrôle d’accès utilisant des profils utilisateur multicritères dynamiques. ANR INFRA INCOME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 4.3, février 2014. 7

- [66] Arnaud Oglaza, Pascale Zaraté, and Romain Laborde. Kapuer : A decision Support System for protecting privacy. In *Joint International Conference of the INFORMS GDN Section and the EURO Working Group on DSS*, June 2014. 8
- [67] Arnaud Oglaza, Pascale Zarate, and Romain Laborde. Kapuer : A decision support system for privacy policies specification. *Annals of Data Science*, 1(3) :369–391, 2015. 7, 8
- [68] OpenIoT : D2.3 OpenIoT Detailed Architecture and Proof-of-Concept Specifications, March 2013. 10
- [69] S. Pekka and J. Rönning. Recognizing human activities user-independently on smart-phones based on accelerometer data. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 1(5) :38–45, 06/2012 2012. 6
- [70] S. Pekka and J. Rönning. Recognizing human activities user-independently on smart-phones based on accelerometer data. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 1(5) :38–45, 06/2012 2012. 6
- [71] A. Ranganathan, J. Al-Muhtadi, and R.H. Campbell. Reasoning About Uncertain Contexts in Pervasive Computing Environments. *IEEE Pervasive Computing*, 3(2) :10–18, April 2004. 6
- [72] P. Rashidi, D.J. Cook, L.B. Holder, and M. Schmitter-Edgecombe. Discovering activities to recognize and track in a smart environment. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, 23(4) :527–539, 2011. 6
- [73] Sam Rottenberg. *Models, methods and tools for multiscale distributed systems*. Thèse de doctorat, Université d’Évry, Télécom SudParis, April 2015. (Soutenance le 27/04/2015). 5, 8
- [74] Sam Rottenberg, Sébastien Leriche, Claire Lecocq, and Chantal Taconet. Vers une définition d’un système réparti multi-échelle. In Cépaduès, editor, *Ubimob’12 : 8èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité*, pages 178 – 183, Anglet, June 2012. 8
- [75] Sam Rottenberg, Sébastien Leriche, Chantal Taconet, Claire Lecocq, and Thierry Desprats. MuScA : A Multiscale Distributed Systems Scale-Awareness Framework. In *Conférence francophone sur les architectures logicielles (CAL 2014)*, Paris, France, Juin 2014. 8
- [76] Sam Rottenberg, Sébastien Leriche, Chantal Taconet, Claire Lecocq, and Thierry Desprats. MuScA : A Multiscale Characterization Framework for Complex Distributed Systems (regular paper). In M. Ganzha, L. Maciaszek, and M. Paprzycki, editors, *FedCSIS-MDASD (Model Driven Approaches in System Development)*, Warsaw, Poland, 07/09/2014-10/09/2014, volume 2 of *Annals of Computer Science and Information Systems*, pages 1657–1665, <http://www.ieee.org/>, septembre 2014. IEEE. 5, 7, 8
- [77] F. Sadri. Ambient Intelligence : A Survey. *ACM Computing Surveys*, 43(4) :1–66, 2011. 3
- [78] M. Satyanarayanan. Pervasive Computing : Vision and Challenges. *IEEE Personal Communications*, 8(4) :10–17, August 2001. 5
- [79] Douglas C. Schmidt. Guest editor’s introduction : Model-driven engineering. *IEEE Computer*, 39(2) :25–31, 2006. 5
- [80] Birjodh Tiwana, Mahesh Balakrishnan, Marcos K. Aguilera, Hitesh Ballani, and Zhuoqing Morley Mao. Location, location, location! : modeling data proximity in the cloud. In *Proceedings of the 9th ACM Workshop on Hot Topics in Networks. HotNets 2010, Monterey, CA, USA*, page 15, October 2010. 10

- [81] Hong-Linh Truong and S. Dustdar. Principles for engineering iot cloud systems. *IEEE Cloud Computing*, 2(2) :68–76, Mar 2015. **3**
- [82] UIT. Internet of things, 2011. **6**
- [83] Sander van der Burg and Eelco Dolstra. Disnix : A Toolset for Distributed Deployment. *Science of Computer Programming*, 79 :52–69, 2014. **7**
- [84] O. Vermesan, P. Friess, G. Woysch, P. Guillemin, S. Gusmeroli, H. Sundmaecker, A. Bassi, M. Eisenhauer, and K. Moessner. *IERC—Cluster Book*, chapter Europe’s IoT Strategic Research Agenda 2012. IERC European Research Cluster on the Internet of Things, 2012. **3**
- [85] R. Want, B.N. Schilit, and S. Jenson. Enabling the Internet of Things. *IEEE Computer*, 48(1), January 2015. **5**
- [86] J. Ye, L. Coyle, S. Dobson, and P. Nixon. Using situation lattices to model and reason about context. In *Fourth International Workshop on Modeling and Reasoning in Context (MRC 2007)*., pages 1–12, August 2007. **6**
- [87] Shanhe Yi, Cheng Li, and Qun Li. A survey of fog computing : Concepts, applications and issues. In *Proceedings of the 2015 Workshop on Mobile Big Data, Mobidata ’15*, pages 37–42, New York, NY, USA, 2015. ACM. **10**