

# Interoperabilité et raisonnement dans le Web Sémantique des objets: le projet CoSWoT

Francesco Antoniazzi<sup>2</sup>, Ghislain Atemezing<sup>6</sup>, Fabien Badeig<sup>2</sup>, Mahdi Bennara<sup>2</sup>, Stephan Bernard<sup>4</sup>, Pierre-Antoine Champin<sup>3</sup>, Jean-Pierre Chanet<sup>4</sup>, Christophe Gravier<sup>5</sup>, Yann Gripay<sup>1</sup>, Frédérique Laforest <sup>\*,1</sup>, Maxime Lefrançois<sup>2</sup>, Lionel Médini<sup>3</sup>, Laure Moiroux<sup>4</sup>, Catherine Roussey<sup>4</sup>, Sylvie Servigne<sup>1</sup>, Kamal Singh<sup>5</sup>, Julien Subercaze<sup>5</sup>, Antoine Zimmermann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univ Lyon, INSA Lyon, LIRIS, CNRS UMR5205,  
F-69622, Villeurbanne, France  
{firstname.lastname}@insa-lyon.fr,

<sup>2</sup> Mines Saint-Etienne, Univ Lyon, Univ Jean Monnet, IOGS, CNRS, UMR 5516, LaHC, Institut Henri Fayol, F - 42023  
Saint-Etienne, France  
{firstname.lastname}@emse.fr,

<sup>3</sup> Univ Lyon, Univ Lyon 1, LIRIS, CNRS UMR5205,  
F-69622, Villeurbanne, France  
{firstname.lastname}@univ-lyon1.fr,

<sup>4</sup> Univ Clermont Auvergne, INRAe, UR TSCF, F-63178 Aubière, France  
{firstname.lastname}@inrae.fr,

<sup>5</sup> Univ Jean Monnet, IOGS, CNRS, UMR 5516, LaHC, F - 42023 Saint-Etienne, France  
{firstname.lastname}@univ-st-etienne.fr,

<sup>6</sup> Mondeca, Paris, France  
ghislain.atemezing@mondeca.com

**Résumé :** Cet article présente le contexte et les objectifs du projet ANR nommé Constrained Semantic Web of Things (CoSWoT). CoSWoT a pour objectif de proposer une architecture logicielle distribuée compatible WoT et embarquée sur des dispositifs contraints. Cette architecture a deux caractéristiques principales : (1) elle utilisera des modèles de connaissances à base de graphes pour déclarer la logique applicative des dispositifs et la sémantique des messages échangés ; (2) les dispositifs auront des capacités de raisonnement afin de répartir les tâches de traitement entre eux. Le développement d'applications WoT sera simplifié : notre plateforme permettra le développement et l'exécution d'applications intelligentes et décentralisées du WoT malgré l'hétérogénéité des dispositifs connectés. La plateforme proposée sera testée sur plusieurs cas d'utilisation dans le bâtiment intelligent et en agriculture numérique.

**Mots-clés :** Web des Objets sémantique, ontologie, description de service , capteur, actionneur, raisonnement incrémental, raisonnement distribué, objet contraint

## 1 Contexte

Le Web des Objets (WoT) est le résultat de l'intégration dans le Web d'objets communicants hétérogènes, potentiellement mobiles, connectés par intermittence et présentant des capacités limitées. De nouveaux services applicatifs innovants peuvent être envisagés pour l'utilisateur pour peu que ces objets puissent se découvrir, inter-opérer, et prendre des décisions collectivement. Les applications du WoT concernent l'agriculture numérique, le bâtiment intelligent, les villes intelligentes, la gestion de l'énergie et de l'eau, la santé, etc. Dans le domaine de l'agriculture numérique, des objets hétérogènes fixes ou mobiles sur

---

\*. Contact author, coordinator of the ANR CoSWoT project

les parcelles cultivées peuvent capter et échanger des informations puis mener des raisonnements pour construire une vue analytique d'un champ et prendre des décisions, par exemple comment irriguer le champ de manière optimale. Les graphes de connaissances sont des représentations formelles obtenues par l'unification de données hétérogènes et distribuées qui ont été enrichies de leur contexte d'acquisition, et liées (Hogan *et al.*, 2020). Ces graphes permettent aussi de raisonner et prendre des décisions. Les modèles et technologies du Web sémantique forment un socle théorique privilégié pour les graphes de connaissances émergent de l'échange, du stockage, du traitement et du raisonnement sur des données dans le Web des Objets.

## 2 Objectifs

L'objectif scientifique du projet CoSWoT est de proposer une architecture logicielle embarquée sur des objets communicants contraints, avec deux caractéristiques principales : (1) elle utilisera des modèles de connaissances à base de graphes pour spécifier de manière déclarative la logique applicative des objets contraints ainsi que les messages qu'ils échangent (2) elle donnera aux objets, malgré leurs contraintes, une capacité de raisonnement sur ces graphes de connaissances pour déporter les traitements de données au bord de l'architecture du système. Ainsi, notre prototype permettra la construction et l'exécution d'applications WoT intelligentes et décentralisées malgré l'hétérogénéité des objets. Ces applications WoT reposent sur une plateforme hébergeant les services nécessaires. Nous évaluerons donc les solutions existantes (plateforme du projet ANR ASAWoO (Médini *et al.*, 2017; Mrissa *et al.*, 2015), Servient du groupe WoT du W3C (Kovatsch *et al.*, 2020), Interworking proxy de la spécification OneM2M de l'ETSI (ETSI, 2017), etc.). Nous sélectionnerons la solution la plus adaptée à nos contraintes techniques, et développerons une version étendue aux verrous scientifiques de notre projet.

Le premier verrou scientifique concerne l'utilisation des graphes de connaissances comme modèle de données généralisé dans les échanges entre objets hétérogènes. Les objets consomment et transmettent des messages avec des syntaxes et modèles de données variés. Chaque constructeur ou consortium développe sa norme d'échange des données. Nous participons à la convergence de certaines initiatives notamment au sein du W3C et de l'ETSI (Sun *et al.*, 2016; Meddeb, 2016; Lefrançois, 2017; Roussey *et al.*, 2020). Nous avons initié des travaux pour étudier comment des objets peuvent être rendus interopérables sémantiquement malgré leurs hétérogénéités, justement en se basant sur l'utilisation généralisée de modèles à base de graphes de connaissances (Lefrançois *et al.*, 2017; Lefrançois, 2017). Ces travaux sont notamment issus du projet ANR OpenSensingCity et du projet ITEA2 Smart Energy Aware Systems, primé *ITEA Award of Excellence 2017*. Des questions de recherche subsistent notamment concernant (i) l'adéquation des modèles de graphes de connaissances existants pour le domaine d'application envisagé ; (ii) l'applicabilité des principes théoriques proposés à une variété de protocoles et standards existants, potentiellement basés sur la génération ou la consommation de flux de données ; (iii) la découverte des objets hétérogènes, des services qu'ils exposent, et de comment les solliciter.

Le second verrou concerne le raisonnement incrémental embarqué et distribué, qui permettra de doter les objets connectés de compétences de raisonnement compatibles avec leurs capacités, et intégrant les nouvelles données au fur et à mesure (Motik *et al.*, 2012; Barbieri *et al.*, 2010; Kazakov & Klinov, 2013; Chevalier *et al.*, 2015, 2016). Nous avons une première expérience pour embarquer des descriptions sémantiques sur des objets contraints avec Hydra (Rojas *et al.*, 2016) mais les principes de distribution restent à définir. Il faut aussi développer des approches et des outils incluant les apports du Web sémantique dans les nouvelles architectures décentralisées où les données sont traitées à la source. Dans (Terdjimi *et al.*, 2015, 2016), notre raisonneur incrémental HyLAR issu du projet ANR ASAWoO déploie les tâches de raisonnement indifféremment côté serveur ou côté client, et permet la découverte de fonctionnalités exposées (Médini, 2016). Dans le projet FSN OpenCloudWare, nous avons défini Slider (Chevalier *et al.*, 2015, 2016) pour optimiser l'empreinte système du raisonnement incrémental en mémoire et en calcul centralisé. De nombreux travaux dans la littérature proposent des optimisations du raisonnement proches du matériel, comme (Muñoz *et al.*, 2007;

Neumann & Weikum, 2008; Goodman & Mizell, 2010; Hoeksema & Kotoulas, 2011; Gurajada *et al.*, 2014) ou notre raisonnable Inferray (Subercaze *et al.*, 2016), mais elles doivent être adaptées au raisonnement distribué pour le WoT, ajoutant de nouvelles contraintes comme la limitation des volumes échangés. La solution envisagée n'est pas unique, mais devra être adaptable aux compétences de chaque objet.

Côté applications, l'agriculture fait face à plusieurs transitions. La France a ouvert et échange des données d'agriculture (Bournigal, 2017). Les projets européens Igreen, Foodie ou SmartAgriFood standardisent l'échange de données agricoles avec des modèles de graphes de connaissances. Des plateformes WoT émergent dans le domaine agricole (Jayaraman *et al.*, 2016; Lehmann *et al.*, 2012), avec des systèmes sensibles au contexte et capables de raisonner. L'INRAE a démontré l'apport des graphes de connaissances (Sun *et al.*, 2016) et propose des jeux de données en agriculture (Roussey *et al.*, 2020) grâce à l'acquisition de données de capteurs sur leur site expérimental au sein de leur AgroTechnoPôle. Le projet CoSWoT passe d'une architecture centralisée à une architecture distribuée, où des objets hétérogènes pourront, en fonction de leurs capacités, participer à l'interprétation des données. Dès la fin de l'année 2, nous réaliserons des expérimentations, de durées et complexités croissantes : communication machine mobile/capteur en champ pour la prise de décision de l'accès à la parcelle en fonction de l'état du sol, communication machine mobile/capteur en champ pour déterminer la vitesse de progression de la machine en fonction de la compaction du sol et de l'état des cultures, jusqu'à la prise de décision et l'automatisation de l'irrigation d'une parcelle cultivée sur une période de plusieurs mois, en fonction de l'état du sol, de la culture et des prévisions météorologiques.

Pour plus d'information sur l'avancée de ce projet, vous pouvez consulter le site web <https://coswot.gitlab.io/>

### 3 Remerciements

Le projet CoSWoT est financé par l'agence nationale de la recherche sous la référence ANR-19-CE23-0012.

### Références

- BARBIERI D. F., BRAGA D., CERI S., DELLA VALLE E. & GROSSNIKLAUS M. (2010). Incremental Reasoning on Streams and Rich Background Knowledge. In *The Semantic Web : Research and Applications, 7th Extended Semantic Web Conference, ESWC 2010, Heraklion, Crete, Greece, May 30 - June 3, 2010, Proceedings, Part I*, p. 1–15 : Springer.
- BOURNIGAL J.-M. (2017). *AgGate - Portail de données pour l'innovation en agriculture*. Rapport interne, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.
- CHEVALIER J., SUBERCAZE J., GRAVIER C. & LAFOREST F. (2015). Slider : An Efficient Incremental Reasoner. In *Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Melbourne, Victoria, Australia, May 31 - June 4, 2015*, p. 1081–1086.
- CHEVALIER J., SUBERCAZE J., GRAVIER C. & LAFOREST F. (2016). Incremental and Directed Rule-Based Inference on RDFS. In *Database and Expert Systems Applications - 27th International Conference, DEXA 2016, Porto, Portugal, September 5-8, 2016, Proceedings, Part II*, p. 287–294 : Springer.
- ETSI (2017). *SmartM2M ; Smart Appliances ; Reference Ontology and oneM2M Mapping*. Technical Specification 103 264 V2.1.1, ETSI.
- GOODMAN E. L. & MIZELL D. (2010). Scalable in-memory RDFS closure on billions of triples. In *Proceedings of the 6th International Workshop on Scalable Semantic Web Knowledge Base Systems (SSWS 2010)*, p. 17–31 : CEUR.
- GURAJADA S., SEUFERT S., MILIARAKI I. & THEOBALD M. (2014). TriAD : a distributed shared-nothing RDF engine based on asynchronous message passing. In *International Conference on Management of Data, SIGMOD 2014, Snowbird, UT, USA, June 22-27, 2014*, p. 289–300 : ACM.
- HOEKSEMA J. & KOTOULAS S. (2011). High-performance Distributed Stream Reasoning using S4. In *Ordring Workshop at ISWC*.
- HOGAN A., BLOMQVIST E., COCHEZ M., D'AMATO C., DE MELO G., GUTIERREZ C., LABRA GAYO J. E., KIRRANE S., NEUMAIER S., POLLERES A., NAVIGLI R., NGONGA NGOMO

- A.-C., RASHID S. M., RULA A., SCHMELZEISEN L., SEQUEDA J., STAAB S. & ZIMMERMANN A. (2020). *Knowledge Graphs*. ArXiv technical report.
- JAYARAMAN P. P., YAVARI Á., GEORGAKOPOULOS D., MORSHED A. & ZASLAVSKY A. (2016). Internet of Things Platform for Smart Farming : Experiences and Lessons Learnt. *Sensors*, **16**(11), 1884.
- KAZAKOV Y. & KLINOV P. (2013). Incremental Reasoning in OWL EL without Bookkeeping. In *The Semantic Web - ISWC 2013 - 12th International Semantic Web Conference, Sydney, NSW, Australia, October 21-25, 2013, Proceedings, Part I*, p. 232–247 : Springer.
- KOVATSCH M., MATSUKURA R., LAGALLY M., KAWAGUCHI T., TOUMURA K. & KAJIMOTO K. (2020). *Web of Things (WoT) Architecture*. W3c recommendation, W3C.
- LEFRANÇOIS M. (2017). Planned ETSI SAREF Extensions based on the W3C&OGC SOSA/SSN-compatible SEAS Ontology Pattern. In *Joint Proceedings of SEMANTiCS 2017 Workshops* : CEUR.
- LEFRANÇOIS M., ZIMMERMANN A. & BAKERALLY N. (2017). A SPARQL Extension for Generating RDF from Heterogeneous Formats. In *The Semantic Web - 14th International Conference, ESWC 2017, Portorož, Slovenia, May 28 - June 1, 2017, Proceedings, Part I*, p. 35–50 : Springer.
- LEHMANN R. J., REICHE R. & SCHIEFER G. (2012). Future internet and the agri-food sector : State-of-the-art in literature and research. *Computers and Electronics in Agriculture*, **89**, 158–174.
- MEDDEB A. (2016). Internet of things standards : who stands out from the crowd ? *IEEE Communications Magazine*, **54**(7), 40–47.
- MÉDINI L. (2016). An Avatar-based Workflow for the Semantic Web of Things. In *W3C Track @ WWW 2016*.
- MÉDINI L., MRISSA M., KHALFI E.-M., TERDJIMI M., LE SOMMER N., CAPDEPUY P., JAMONT J.-P., OCCELLO M. & TOUSEAU L. (2017). Building a Web of Things with Avatars : A comprehensive approach for concern management in WoT applications. In *Managing the Web of Things : Linking the Real World to the Web*, p. 151–180. Morgan Kaufmann.
- MOTIK B., HORROCKS I. & KIM S. M. (2012). Delta-reasoner : a semantic web reasoner for an intelligent mobile platform. In *Proceedings of the 21st World Wide Web Conference, WWW 2012, Lyon, France, April 16-20, 2012 (Companion Volume)*, p. 63–72 : ACM.
- MRISSA M., MÉDINI L., JAMONT J.-P., LE SOMMER N. & LAPLACE J. (2015). An Avatar Architecture for the Web of Things. *IEEE Internet Computing*, **19**(2), 30–38.
- MUNOZ S., PÉREZ J. & GUTIERREZ C. (2007). Minimal Deductive Systems for RDF. In *The Semantic Web : Research and Applications, 4th European Semantic Web Conference, ESWC 2007, Innsbruck, Austria, June 3-7, 2007, Proceedings*, p. 53–67 : Springer.
- NEUMANN T. & WEIKUM G. (2008). RDF-3X : a RISC-style engine for RDF. *PVLDB*, **1**(1), 647–659.
- ROJAS R., MÉDINI L. & CORDIER A. (2016). Toward Constrained Semantic WoT. In *Proceedings of the Seventh International Workshop on the Web of Things, WoT 2016, Stuttgart, Germany, November 7, 2016*, p. 31–37.
- ROUSSEY C., BERNARD S., ANDRÉ G. & BOFFETY D. (2020). Weather Data Publication on the LOD using SOSA/SSN Ontology. *Semantic Web journal*. To appear in 2020.
- SUBERCAZE J., GRAVIER C., CHEVALIER J. & LAFOREST F. (2016). Infarray : fast in-memory RDF inference. *PVLDB*, **9**(6), 468–479.
- SUN J., DE SOUSA G., ROUSSEY C., CHANET J.-P., PINET F. & HOU K.-M. (2016). Intelligent Flood Adaptive Context-aware System : How Wireless Sensors Adapt their Configuration based on Environmental Phenomenon Events. *Sensors & Transducers*, **206**(11), 68.
- TERDJIMI M., MÉDINI L. & MRISSA M. (2015). HyLAR : Hybrid Location-Agnostic Reasoning. In *Proceedings of the ESWC Developers Workshop 2015 co-located with the 12th Extended Semantic Web Conference (ESWC 2015), Portorož, Slovenia, May 31, 2015*, p. 1–6 : CEUR.
- TERDJIMI M., MÉDINI L. & MRISSA M. (2016). HyLAR+ : Improving Hybrid Location-Agnostic Reasoning with Incremental Rule-based Update. In *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web, WWW 2016, Montreal, Canada, April 11-15, 2016, Companion Volume*, p. 259–262.