

Appliquer les jumeaux numériques industriels à l'agriculture : une perspective pour le déploiement des systèmes contextuels

Quang-Duy NGUYEN¹, Guéréguin Der Sylvestre SIDIBE¹
Université Paris-Saclay, CEA, List, F-91120, Palaiseau, France

quang-duy.nguyen@cea.fr, guereguin.sidibe@cea.fr

Résumé

L'Asset Administration Shell (AAS) s'est imposé comme une norme industrielle très demandée pour la mise en œuvre de jumeaux numériques dans les environnements industriels. Son succès est principalement dû à sa facilité de compréhension et de déploiement, à son architecture moderne et rigoureuse, et au soutien important de la communauté industrielle. En dépit du grand potentiel que présente AAS pour les applications dans l'agriculture, il y a un manque d'études sur ce sujet. Cet article présente donc une perspective sur l'utilisation des jumeaux numériques AAS pour déployer des systèmes contextuels, dans le cas particulier du système d'irrigation IRRINOV, qui a été précédemment étudié par TSCF, INRAE.

Mots-clés

Asset Administration Shell, pile de services, IRRINOV®, système d'aide à la décision.

Abstract

The Asset Administration Shell (AAS) has emerged as a highly demanded industry-grade standard for implementing digital twins in industrial environments. Its success is mainly due to its ease of understanding and deployment, its modern and rigorous architecture, and strong support from the industrial community. Although AAS has great potential for applications in agriculture, there is a lack of studies on this topic. Thus, this paper presents a perspective on using AAS digital twins to deploy context-aware systems, particularly in a case study of the irrigation system IRRINOV, which was previously investigated by TSCF, INRAE.

Keywords

Asset Administration Shell, stack of services, IRRINOV®, decision support system.

1 Introduction

Les jumeaux numériques (JNs) ont joué un rôle important dans l'industrie 4.0 et constituent l'une des six technologies clés de l'industrie 5.0 [7]. Un JN se définit comme une représentation d'une entité (machines, équipements, systèmes), composée d'un ensemble de modèles décrivant ses différents aspects [4], tels que la visualisation et le fonctionnement, ainsi que d'outils avancés qui ajoutent de la valeur

à l'entité. Il dispose d'une connexion réseau permettant une synchronisation des données avec l'entité à une fréquence minimale, idéalement en temps réel [5]. Dans [6], trente-cinq applications différentes des jumeaux numériques dédiées à l'industrie ont été identifiées. Parmi ces applications, plusieurs peuvent s'appliquer à l'agriculture.

L'Asset Administration Shell (AAS) est un standard industriel destiné au déploiement des JNs, développé par l'Industrial Digital Twin Association (IDTA). Il est actuellement adopté et enrichi par une large communauté industrielle, incluant de grandes entreprises, des usines et des centres de recherche. Un JN d'AAS d'une entité contient trois éléments fondamentaux. Le premier est un modèle d'information structuré sous forme d'une collection de sous-modèles représentant des aspects de l'entité. Chaque sous-modèle est composé d'éléments de sous-modèle, où chaque élément peut être de différent type, comme une propriété, une opération, et ainsi de suite. Le standard AAS reste assez ouvert pour permettre aux utilisateurs de définir leurs propres sous-modèles. Pour garantir une plus grande interopérabilité, l'IDTA met à la disposition des templates déjà prêts de sous-modèles dans leur dépôt de sous-modèles sur son site officiel¹. Le deuxième élément du JN d'AAS est une connexion bidirectionnelle entre le JN et l'entité, permettant au JN d'AAS non seulement de récupérer des données dans un sens, mais aussi d'envoyer les configurations ou les commandes dans l'autre. Les données récupérées sont utilisées pour mettre à jour les éléments du modèle d'information d'AAS. Le troisième est une interface standardisée qui expose les données dans le modèle d'information aux utilisateurs, aux applications externes, et aux autres JNs d'AAS. Grâce à cette interface, les applications externes peuvent interagir de manière standardisée avec l'entité via son JN d'AAS. En plus des trois éléments ci-dessus, les utilisateurs peuvent optionnellement ajouter d'autres services, tels que le stockage de données historiques pour élargir ses capacités. La figure 1 illustre un JN d'AAS. Dans le contexte de l'Industrie 4.0 et de l'IoT, interopérabilité entre différents systèmes étant une caractéristique essentiel, l'AAS dispose également du concept du semanticId (identifiant sémantique). Le semanticId permet de fournir un identifiant unique et explicite qui permet de relier une propriété ou d'un sous-modèle d'un JN d'AAS à des informations sé-

1. <https://industrialdigitaltwin.org/en/>

mantiques spécifiques. Il est souvent lié à des ontologies ou des vocabulaires standardisés, ce qui permet d'assurer une plus grande interopérabilité entre les systèmes.

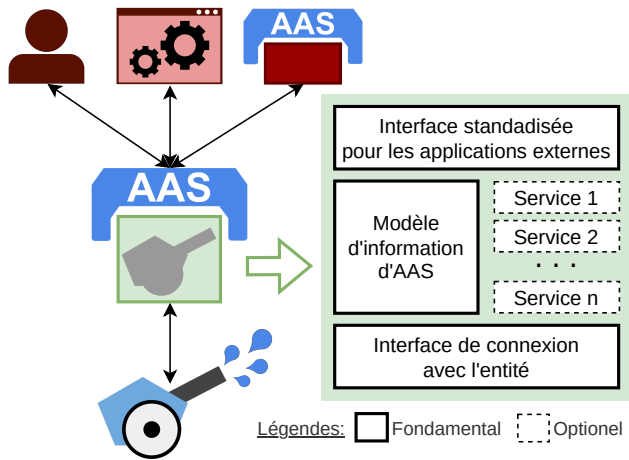


FIGURE 1 – Composants d'un JN d'AAS typique

Cet article est organisé de la façon suivante. La section 2 présente les contributions possibles d'AAS aux systèmes contextuels dans le domaine de l'agriculture. Ensuite, la section 3 illustre son utilisation à travers un cas d'usage en irrigation, étudié antérieurement par le TSCF², INRAE. Enfin, une brève conclusion résume les idées principales de l'article et ouvre quelques perspectives.

2 Asset Administration Shell pour les systèmes contextuels

Un système contextuel "utilise le contexte pour fournir des informations et des services appropriés à l'utilisateur" [1]. Les systèmes contextuels se comprennent des flux de transformation complexe entre des données brutes, des informations, des connaissances et des actions retournant vers le contexte. La pile de services de systèmes contextuels [8] peut être utilisée comme un outil permettant de décrire les services nécessaires pour cette transformation. En détail, les services de sélection de sources (s1), de collecte de données (s2) et de nettoyage de données (s3) sont invoqués pour obtenir des données nettes prêtes à être consommées; les services de transformation de format de données (s4), d'annotation (s5), et de stockage (s6) sont utilisés pour produire et gérer des informations; les services de récupération de données (s7), d'agrégation (s8), et de raisonnement (s9) sont invoqués pour déduire des connaissances. Ces connaissances sont utilisées ultérieurement pour plusieurs services, tels que la réaction aux contextes (s10), la notification visant les utilisateurs (s11), et ainsi de suite.

En général, un JN d'AAS d'une entité a la capacité de récupérer des données bruitées provenant de cette entité. Ces données peuvent être nettoyées afin de mettre à jour leurs propriétés associées dans le modèle d'information d'AAS. Donc, un JN d'AAS typique propose les services s1, s2,

et s3. De plus, les utilisateurs d'AAS peuvent créer non seulement des sous-modèles contenant des propriétés représentant des sources de données bruitées, mais également des sous-modèles contenant des propriétés représentant les données agrégées et déduites. Ces dernières propriétés sont mises à jour en intégrant adéquatement les services de s4 à s9 dans le JN d'AAS. Les services s10 et s11 sont réservés aux actionneurs et peuvent être représentés par des opérations dans le modèle d'information d'AAS.

Les exemples suivants vont clarifier l'idée ci-dessus. Étant donné un pluviomètre qui observe la quantité de pluie, son JN d'AAS possède une connexion en temps réel avec le pluviomètre et dispose d'un modèle d'information comme illustré dans la figure 2. Ce modèle d'information comporte quatre sous-modèles : le sous-modèle Identification contient les propriétés permettant d'identifier le pluviomètre; le sous-modèle PluieObservation contient les propriétés décrivant une observation à un moment donné; le sous-modèle PluieTotaleObservation contient les propriétés décrivant une observation de la pluie pendant une journée; le sous-modèle PluieIntensitéDédution contient les propriétés décrivant une déduction de l'intensité de la pluie sur la journée. D'un côté, la valeur de la propriété quantité_pluie est mise à jour à partir des données bruitées téléchargées depuis le pluviomètre en utilisant les services s1, s2, et s3. En général, ces services font nativement partie de JN AAS. D'un autre côté, les propriétés quantité_pluie_totale et pluie_intensité nécessitent des services supplémentaires. En détail, pour calculer la quantité de pluie d'une journée, il faut avoir plusieurs observations à différents moments, stockées dans une base de données historique. Donc, les services s6, s7 et s8 sont nécessaires. Ensuite, pour déduire l'intensité de la pluie d'une journée, il faut disposer d'un système expert capable de lancer une déduction à partir des données existantes. Dans ce cas, non seulement le service s9 est fondamental, mais également les données doivent être dans un format sémantique, ce qui rend les services s4 et s5 nécessaires.

La figure 3 illustre un autre modèle d'information d'un JN d'AAS d'un système d'arrosage qui inclut un pistolet d'arrosage et un pluviomètre d'arrosage. Notez qu'un pluviomètre d'arrosage est différent d'un pluviomètre de pluie : il a pour objectif de mesurer la quantité d'eau projetée par le pistolet d'arrosage, et non de la pluie. Ce modèle d'information est composé de deux sous-modèles : un pour le pluviomètre d'arrosage et un pour le pistolet d'arrosage. Le point à remarquer ici concerne les deux opérations irriguer et arrêter, qui impliquent le contexte agricole; par conséquent, le service s10 est nécessaire.

3 Perspectives d'intégration dans le cas d'usage IRRINOV

Le cas d'usage IRRINOV, développé et analysé par le TSCF, a pour objectif d'automatiser la méthode d'irrigation IRRINOV®. Cette méthode comprend un ensemble de règles qui guident les agriculteurs dans le déploiement des équipements agricoles, l'observation des phénomènes na-

2. <https://tscf.clermont.hub.inrae.fr/>

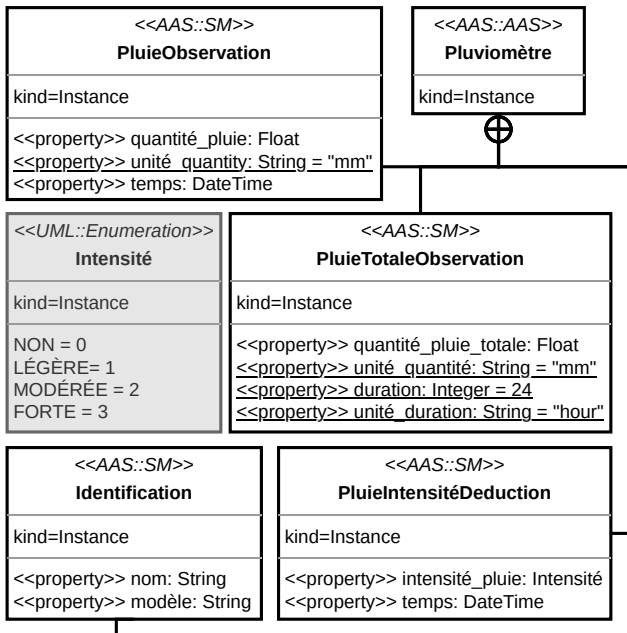


FIGURE 2 – Modèle d'information d'un JN d'AAS d'une pluviomètre

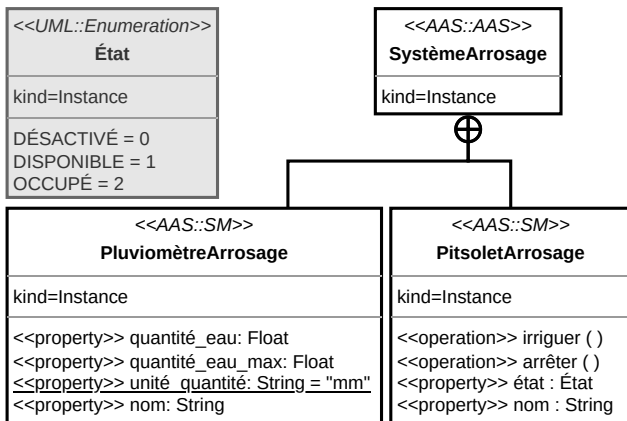


FIGURE 3 – Modèle d'information d'un JN d'AAS d'un système d'arrosage

turels, et la combinaison des observations pour calculer et déduire la décision d'irrigation quotidienne [2, 10]. Quatre équipements sont nécessaires pour appliquer la méthode IRRINOV® :

- e1. Un pluviomètre de pluie observe la quantité d'eau de pluie tombée.
- e2. Une station, appelée IRRINOV, qui observe la tension de l'eau dans le sol. Cette station est conçue selon le modèle de six sondes (trois placées à 30 cm de profondeur et trois à 60 cm de profondeur) proposé par IRRINOV®.
- e3. Un système de suivi de la croissance végétale qui observe la croissance du maïs. Notez que ce système peut être complexe, comme un ensemble de caméras avec un outil de traitement d'images, ou simplement une interface applicative permettant à un agriculteur

de saisir son observation.

- e4. Un système d'arrosage composé d'un ou plusieurs pistolets d'arrosage et d'un ou plusieurs pluviomètres d'arrosage.

IRRINOV® comporte quatre opérations de calcul et cinq de déduction. Ces opérations sont suivantes :

- c1. Calcul de la quantité totale de pluie pendant une journée.
- c2. Calcul de la valeur moyenne des trois sondes à 30 cm de profondeur.
- c3. Calcul de la valeur moyenne des trois sondes à 60 cm de profondeur.
- c4. Calcul de la valeur agrégée des six sondes de la station IRRINOV.
- d1. Déduction de l'état de l'intensité de pluie.
- d2. Déduction de l'état de la tension dans le sol.
- d3. Déduction de l'état de la croissance de maïs.
- d4. Déduction de l'état du besoin en eau de maïs.
- d5. Déduction de la décision d'irriguer le champ.

Le système d'irrigation du TSCF est doté de modules permettant de gérer à distance les équipements agricoles, ainsi que d'un système d'aide à la décision (SAD). Le SAD est basé sur deux ontologies, IRRIG et CASO [9], et sur un système d'expert incluant des règles traduites de la méthode IRRINOV®. Pour rénover ce système grâce à l'utilisation des JNs d'AAS, une approche consiste à créer, pour chacun des quatre équipements agricoles, un JN d'AAS, ainsi qu'un JN d'AAS pour le processus d'irrigation. Le JN d'AAS pour le processus d'irrigation se connecte aux JNs des quatre équipements pour échanger des données et des commandes. Il est équipé du SAD pour lancer un service qui aide les utilisateurs dans leurs décisions d'irrigation. La figure 4 présente une illustration de cette approche. JN1 est le JN de e1 qui télécharge les données brutes d'e1, puis sémantiquement les annote pour obtenir une représentation RDF³. Le calcul c1 et la déduction d1 sont ainsi réalisés par JN1, et les résultats de c1 et d1 sont formalisés en RDF. Dans le même sens, JN2 est le JN de e2 et lance les calculs c2, c3, c4, et la déduction d2; JN3 est le JN de e3 et lance la déduction d3; JN4 est le JN de e4 et s'utilise pour envoyer des commandes d'action à e4; JN0 est le JN du processus d'irrigation qui lance les déductions d4 et d5.

L'approche que nous proposons présente trois avantages. Premièrement, tous les JNs d'AAS impliqués peuvent communiquer en utilisant le même standard, ce qui améliore l'interopérabilité des composants. Deuxièmement, chaque JN d'AAS peut être encapsulé dans un conteneur Docker⁴ rendant ainsi le déploiement facile sans tenir compte du niveau de déploiement (cloud, fog, edge). Troisièmement, il existe sur le marché des outils open-source comme Papyrus4Manufacturing [3] qui soutiennent le déploiement de tous ces JNs d'AAS avec la méthodologie de l'ingénierie dirigée par les modèles. Papyrus4Manufacturing est utilisé pour concevoir un modèle d'AAS et générer le code Java à

3. RDF est l'acronyme de Resource Description Framework. C'est un outil pour décrire l'ontologie et le graphe de données sémantiques. Quelques formats que RDF supporte est Turtle, N-Triples, et RDF/XML.

4. <https://www.docker.com/>

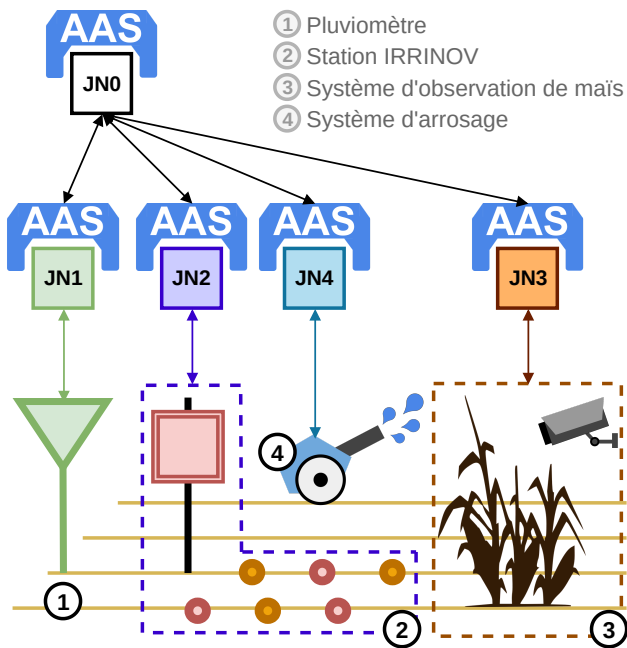


FIGURE 4 – Intégration des JNs d'AAS dans le système d'irrigation de TSCF

partir de ce modèle. Ce code peut être étendu avec des codes personnalisés des utilisateurs pour réaliser des services tels que le service d'annotation, de calcul ou de raisonnement.

4 Conclusion

Cet article présente une approche d'application des technologies d'AAS dans le domaine agricole, en particulier pour le déploiement de systèmes contextuels. Un système contextuel peut être implémenté sous forme d'une fédération de JNs d'AAS, ce qui le rend non seulement flexible, mais aussi conforme à un standard industriel, améliorant la fiabilité et l'interopérabilité entre ses composants, ainsi qu'entre les composants et les utilisateurs. L'étude de la rénovation du cas d'usage IRRINOV du système d'irrigation de TSCF illustre la faisabilité de cette approche. Deux améliorations peuvent encore enrichir IRRINOV : (1) l'intégration du SAD dans chaque JN d'équipement agricole, permettant une prise de décision intelligente, telle que l'optimisation de la consommation énergétique ; et (2) la création de JNs de parcelle, facilitant le regroupement et la gestion des équipements par parcelle.

En perspective, nous concrétiserons notre approche selon deux axes. D'abord, il s'agira de mettre en œuvre le cas d'usage IRRINOV avec des données et des évaluations. L'outil envisagé pour ce développement est Papyrus4Manufacturing. Dans cette continuité, les estimations de l'état de pluie, du sol, des plantes et des besoins en eau de la parcelle devront être approfondies par une étude attentive de la méthode IRRINOV®. Ensuite, nous explorerons l'utilisation des JNs d'AAS à d'autres domaines et applications liés à l'agriculture, tels que la définition et le déploiement de Passeport Numérique des Produits agricoles.

Références

- [1] Gregory D. Abowd, Anind K. Dey, Peter J. Brown, Nigel Davies, Mark Smith, and Pete Steggle. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In *Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, HUC '99*, pages 304–307, Karlsruhe, Germany, September 1999. Springer-Verlag London, UK.
- [2] Arvalis, Limagrain, Chambre d'Agriculture du Puy-de-Dôme. Guide de l'utilisateur, Carnet de terrain, Pilotez l'irrigation avec la méthode IRRINOV. Technical report, Arvalis, may 2005.
- [3] Saadia Dhouib, Yining Huang, Asma Smaoui, Tapanta Bhanja, and Volkan Gezer. Papyrus4manufacturing : A model-based systems engineering approach to aas digital twins. In *2023 IEEE 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, pages 1–8, Romania, 2023.
- [4] Frédéric Sanchez. Digital Twin : Leveraging the Digital Transformation of the Industry. Brochure, Alliance Industrie du Future, France, 2023.
- [5] International Electrotechnical Commission. Digital twin - Concepts and terminology. International Standard ISO/IEC 30173 :2023-11, International Organization for Standardization, November 2023.
- [6] Mohd Javaid, Abid Haleem, and Rajiv Suman. Digital Twin applications toward Industry 4.0 : A Review. *Cognitive Robotics*, 3 :71–92, 2023.
- [7] Maija Breque, Lars De Nul, and Athanasios Petridis. Industry 5.0 : Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European industry. Policy Brief 10.2777/308407, Directorate-General for Research and Innovation (DG RTD), Luxembourg, 2021.
- [8] Quang-Duy Nguyen, Catherine Roussey, Patrick Bellot, and Jean-Pierre Chanut. Stack of services for context-aware systems : An internet-of-things system design approach. In *2021 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)*, pages 1–6, Vietnam, 2021.
- [9] Quang-Duy Nguyen, Catherine Roussey, María Poveda Villalón, Christophe De Vault, Jean-Pierre Chanut, and Camille Noûs. CASO et IRRIG deux ontologies pour le développement de systèmes contextuels : cas d'usage sur l'automatisation de l'irrigation. In *31es Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances*, Actes des 31e Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances (IC 2020), pages 133–144, Angers, France, June 2020.
- [10] Quang-Duy Nguyen, Catherine Roussey, María Poveda-Villalón, Christophe de Vault, and Jean-Pierre Chanut. Development Experience of a Context-Aware System for Smart Irrigation Using CASO and IRRIG Ontologies. *Applied Sciences*, 10(5) :1803, March 2020.