



HAL
open science

Besoins ontologiques d'un système d'irrigation intelligent : comparaison entre SSN et SAREF

María Poveda-Villalon, Quang-Duy Nguyen, Catherine Roussey, Christophe de Vault, Jean-Pierre Chanet

► To cite this version:

María Poveda-Villalon, Quang-Duy Nguyen, Catherine Roussey, Christophe de Vault, Jean-Pierre Chanet. Besoins ontologiques d'un système d'irrigation intelligent : comparaison entre SSN et SAREF. 29es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances, IC 2018, AFIA, Jul 2018, Nancy, France. pp.21-36. hal-01841316

HAL Id: hal-01841316

<https://hal.science/hal-01841316>

Submitted on 23 Jul 2018

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Besoins ontologiques d'un système d'irrigation intelligent : comparaison entre SSN et SAREF

María Poveda-Villalón¹, Quang-Duy Nguyen², Catherine Roussey²,
Christophe de Vault³, Jean-Pierre Chanet²

¹ Ontology Engineering Group, Universidad Politécnica de Madrid, Spain mpoveda@fi.upm.es

² UR TSCF Irstea, Aubière, France prenom.nom@irstea.fr

³ Limos, UMR 6158, Aubière, France christophe.de_vault@uca.fr

Résumé :

L'agriculture de précision est un des leviers importants d'amélioration de l'agriculture en Europe. Cette approche peut notamment s'appliquer à l'irrigation en permettant aux agriculteurs d'économiser l'eau ou de l'utiliser au bon moment sans excès. Cet article présente brièvement les prémices d'un système d'irrigation automatisé pour l'AgroTechnoPôle d'Irstea. Ce système est un système contextuel adaptatif où les ontologies sont utilisées pour résoudre les problèmes d'intégration des données hétérogènes. Ensuite un raisonnement est appliqué sur ces données pour déduire les états des entités et commander le système d'irrigation. L'objectif principal de cet article est d'analyser les ontologies SSN et SAREF produites par deux organismes de normalisation. Nous avons déterminé les besoins de notre système d'irrigation et ensuite nous avons identifié si ces besoins étaient abordés par ces deux ontologies.

Mots-clés : Ontologies, Agriculture de précision, Système contextuel adaptatif

1 Introduction

Au XXI siècle, les défis économiques et environnementaux obligent les pouvoirs publics et les citoyens à améliorer les processus et les habitudes de vie afin d'économiser les ressources précieuses et rares. L'eau est menacée par le changement climatique et la surexploitation dans de nombreuses régions. Particulièrement dans l'agriculture, domaine qui consomme le plus d'eau au niveau mondial (UNESCO, 2014), il est nécessaire de réduire la consommation d'eau en maintenant les niveaux de production et la qualité des récoltes.

En agriculture, une des activités des agriculteurs est l'observation des phénomènes naturels (météo, croissance des cultures, bioagresseurs...) pour adapter au mieux les pratiques agricoles. Par exemple, l'agriculteur fait le tour des parcelles pour examiner les stades de développement des cultures et l'état des sols afin de décider des actions d'irrigation. Cependant, cette activité d'observation est incertaine en raison des erreurs liées à l'opérateur, ainsi que des éventuels changements rapides de la météo. Ces imprécisions peuvent avoir des impacts significatifs sur les rendements et la qualité des récoltes.

L'agriculture de précision est un facteur essentiel pour l'avenir d'une agriculture éco-responsable en Europe, avec pour principal objectif de surmonter les problèmes de pratiques inadéquates (Schrijver *et al.*, 2016). En agriculture de précision, les technologies numériques sont utilisées pour surveiller le contexte des cultures et ainsi optimiser les pratiques agricoles avec des méthodes adaptées. L'irrigation de précision est une des pratiques clés de l'agriculture moderne. Au cours de la dernière décennie, des sites de démonstration et d'expérimentation pour l'agriculture de précision ont été mis en œuvre pour valider ces approches. Par exemple, sur l'AgroTechnoPôle, situé à Montoldre en France, un système d'irrigation intelligent mettant en œuvre tout le potentiel de l'Internet des Objets est en cours de développement. L'objectif de ce système est de collecter les données d'observation ainsi que le contexte des cultures et de l'exploitation afin d'activer le système d'irrigation au bon moment. Ce type de système connu sous le nom de systèmes contextuels adaptatifs, bénéficie des technologies du Web sémantique comme les ontologies pour harmoniser et intégrer

les données et ensuite raisonner sur ces données. Dans le cas particulier du site de Montoldre, une ontologie est mobilisée pour annoter sémantiquement les données et permettre un raisonnement à base de règles pour déduire l'état du sol et les besoins d'irrigation.

L'objectif de cet article est de : (1) extraire les besoins ontologiques pour un système contextuel d'irrigation et (2) analyser dans quelle mesure ces besoins sont couverts par les deux ontologies candidates présentes : SSN (Semantic Sensor Network) et SAREF (Smart Appliances REference) sont deux standards connus dans le domaine de l'Internet des Objets (IdO). Notre recherche s'est limitée à ces deux ontologies car elles sont largement adoptées par la communauté, disponibles en ligne, avec un développement mature et elles sont maintenues au sein d'institutions de normalisation.

L'article est organisé de la façon suivante. La section 2 présente une brève description du système d'irrigation intelligent et de son cycle de fonctionnement. Ainsi les lecteurs auront une vue d'ensemble de notre système contextuel adaptatif. Ensuite, dans la section 3, nous présentons la méthode d'irrigation utilisée dans notre cas d'usage. La section 4 présente l'inventaire des besoins de modélisation ontologique. Les ontologies considérées pour cette étude sont brièvement présentées dans la section 5. La section 6 analyse en quoi les ontologies candidates répondent aux besoins. Enfin, d'autres recherches dans ce domaine sont présentées dans la section 7. La section 8 conclut ce travail et présente des perspectives.

2 Définitions des systèmes d'irrigation intelligents

Nous proposons d'adopter les définitions suivantes:

- “Un système contextuel est un système qui utilise le contexte pour fournir des informations et des services appropriés à l'utilisateur. Il convient de noter que la pertinence d'une information ou d'un service dépend de la tâche réalisée par l'utilisateur.” (Abowd *et al.*, 1999)
- “Un système contextuel adaptatif est un système contextuel capable de modifier son comportement en fonction des changements du contexte de l'application” (Efstratiou, 2004). Par exemple, un système de gestion des inondations en charge de la surveillance d'un bassin versant est un système contextuel adaptatif s'il envoie des alertes à ses utilisateurs pour les informer des risques de crues et s'il modifie la fréquence de communication de ses noeuds en fonction de ces risques (Sun *et al.*, 2016).

Le contexte dans ce type de système est défini comme “l'ensemble des informations utilisées pour caractériser la situation d'une entité. Une entité peut être une personne, un lieu ou un objet jugé pertinent dans les interactions entre l'utilisateur et l'application”(Abowd *et al.*, 1999). Deux types de contexte sont définis (Sun, 2017):

- Le contexte de bas niveau contient des données quantitatives telles que les mesures issues de capteurs.
- Le contexte de haut niveau, quant à lui, est constitué des données qualitatives qui sont spécifiées en fonction des objectifs de l'application. Un exemple de contexte de haut niveau pour un système d'irrigation automatique est l'état des parcelles agricoles : lorsqu'une parcelle atteint l'état «sol sec», le système déclenche une action d'irrigation.

Un système contextuel adaptatif pour l'irrigation est composé de trois composantes spécifiques: un réseau de capteurs sans fil (RCSF) en charge de la surveillance de l'environnement; un outil d'aide à la décision (OAD) pour envoyer des notifications aux agriculteurs afin de les aider dans leurs décisions d'irrigation et contrôler un système d'irrigation automatique et enfin le système d'irrigation.

Le cycle de fonctionnement d'un système contextuel se découpe en quatre phases : (1) l'acquisition du contexte ; (2) la modélisation du contexte ; (3) le raisonnement sur le contexte ; et (4) la diffusion du contexte (Perera *et al.*, 2014). Dans un système contextuel adaptatif, une phase supplémentaire est ajoutée pour que le système s'adapte aux changements de

contexte. Par conséquent, le cycle de fonctionnement de ce système comprends cinq phases (Sun, 2017).

La figure 1 présente une illustration du cycle de fonctionnement d'un système contextuel adaptatif dédié à notre cas d'usage sur l'irrigation automatique à Montoldre. Ce cas sera présenté plus en détail dans la section 3). Ainsi le cycle de fonctionnement est composé de 5 phases:

- Phase d'acquisition du contexte : au cours de cette phase, le système acquiert des données brutes provenant de diverses sources. La principale source de données est le réseau de capteurs sans fils qui mesure, collecte et transmet des mesures brutes. De plus, des données collectées par les stations de météo locale (Roussey *et al.*, 2014) sont aussi transmises au système.
- Phase de modélisation du contexte : les données brutes sont annotées pour pouvoir être intégrées. Ces données sont organisées dans un modèle pour devenir un contexte de bas niveau. Dans le cas d'usage de Montoldre, nous sélectionons les ontologies SSN et SAREF comme deux candidats pour modéliser le contexte.
- Phase de traitement du contexte : au cours de cette phase, un raisonnement est appliqué sur le contexte de bas niveau afin de déduire un contexte de haut niveau. Pour le raisonnement, un moteur à base de règles peut être utilisé.
- Phase de diffusion du contexte : le contexte de haut niveau est distribué aux composants du système ou à d'autres systèmes. Par exemple, le contexte de haut niveau est une entrée de l'OAD de pilotage de l'irrigation.
- Phase d'exploitation du contexte : dans cette phase, le système exploite le contexte pour prendre une décision et lancer une action comme lancer l'irrigation. Le système peut aussi modifier le comportement de ces composants afin qu'ils s'adaptent aux changements du contexte. Par exemple, pendant une forte pluie, le système demande aux nœuds du réseau de passer en mode veille car le système n'aura pas besoin de nouvelles mesures d'humidité du sol suite à la pluie.

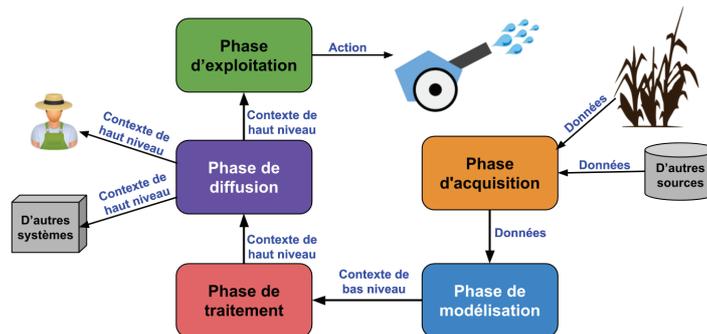


Figure 1: Le cycle de fonctionnement d'un système d'irrigation intelligent

3 La méthode IRRINOV pour piloter manuellement l'irrigation

Cette section présente la méthode IRRINOV®¹ développée par l'institut technique Arvalis et ses partenaires. Cette méthode propose un guide aux agriculteurs pour prendre des décisions d'irrigation en fonction des mesures des sondes d'humidité du sol et du pluviomètre.

¹<http://www.irrinov.arvalisinstitutduvegetal.fr/irrinov.asp>

Autrement dit, la méthode fournit des conseils pour répondre à trois questions : (1) Quand l'irrigation devrait-elle commencer ? C'est à dire quand l'agriculteur doit-il mettre en place son système d'arrosage sur la parcelle (2) Quand lancer un arrosage (démarrage d'un tour d'eau)? (3) Quand l'irrigation devrait-elle s'arrêter ? Autrement dit l'agriculteur peut retirer son système d'arrosage de la parcelle.

La méthode IRRINOV® est constituée d'un ensemble de tables de décision et de recommandations pour gérer l'irrigation d'une parcelle. Cette méthode propose de nombreuses variantes dépendant du type de sol de la parcelle et de sa culture. Nous utiliserons la méthode IRRINOV de la région Limagne pour la culture du maïs grain en sol argilo-calcaire (Arvalis, Limagrain, Chambre d'Agriculture du Puy-de-Dôme, 2005).

Les équipements nécessaires pour réaliser des mesures avec la méthode IRRINOV comprennent :

- Une station de mesure IRRINOV® composée de 6 sondes Watermark pour mesurer la tension de l'eau dans le sol (tensiomètre). Parmi les 6 sondes Watermark, 3 sondes sont placées à 30 cm de profondeur dans le sol et les 3 autres sondes sont placées à 60 cm de profondeur.
- Un pluviomètre pour mesurer la quantité d'eau reçue par la culture pendant un tour d'eau.
- Une station météorologique comprenant un pluviomètre pour mesurer la quantité d'eau reçue par la culture pendant une pluie, et un thermomètre pour mesurer chaque jour la température minimale et la température maximale de l'air.

Les sections suivantes décrivent les configurations des équipements et fournissent des recommandations pour avoir un processus d'irrigation de bonne qualité.

3.1 Configuration de la localisation des sondes et des équipements

La méthode IRRINOV® spécifie la localisation des équipements de mesure :

- La station IRRINOV doit être située sur le sol dominant de la parcelle à irriguer et elle doit être facilement accessible. La localisation de cette station dépend du système d'arrosage. La station doit être entre deux arroseurs et au moins à 60 mètres du bord de la parcelle. Les sondes doivent être placées sur deux rangs voisins entre des plants comme le montre le schéma de la figure 2.

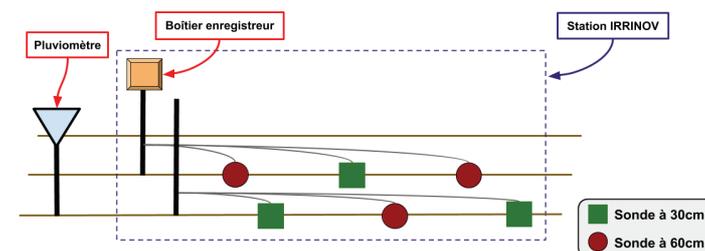


Figure 2: Plan des sondes Watermark et du pluviomètre dans une parcelle

- Le pluviomètre mobile doit être proche de la station IRRINOV. Sa hauteur doit être au-dessus de la hauteur maximum de la culture et en dessous de l'arroseur. Les auteurs de la méthode IRRINOV recommandent de placer le pluviomètre sur un pied télescopique pour le maintenir au-dessus de la culture.
- La station météorologique agricole doit être éloignée de tout bâtiment ou arbre et à une hauteur spécifique (inférieure à 2 mètres, soit la hauteur maximale des cultures en champs).

3.2 Configuration de la fréquence de mesure

La station IRRINOV® et le pluviomètre mobile doivent être placés dans la parcelle lorsque la culture atteint le stade V2². Les mesures commencent 2 ou 3 jours après l'installation.

Les sondes Watermark doivent fournir une mesure une fois par semaine ou tous les deux ou trois jours si le temps devient sec. De plus, les sondes d'humidité du sol doivent fournir une mesure :

- Avant chaque tour d'eau prévu pour confirmer ou annuler le début d'un nouveau tour d'eau;
- 24 heures à 36 heures après chaque tour d'eau pour évaluer l'efficacité de l'irrigation. Il faut éviter de mesurer l'humidité du sol moins de 24 h après la fin de l'irrigation, car les mesures sont instables.
- Après des pluies pour évaluer leur effet. Par exemple, si la quantité de pluie est inférieure à 10 mm, la date du prochain tour d'eau ne doit pas être modifiée.

L'irrigation doit s'arrêter lorsque la culture atteint le stade R5³.

3.3 Validation des mesures

Pour valider la mesure des sondes Watermark, la méthode IRRINOV définit un écart maximal possible entre les mesures des sondes d'une même niveau de profondeur. Précisément, cet écart est égal à 30 cbar. Si l'écart entre les mesures des sondes est supérieure à 30 cbar, cela signifie que l'une des sondes est hors service et que l'agriculteur doit aller sur le terrain pour recalibrer ou changer la sonde.

Pour obtenir la tension en cbar, la valeur mesurée par la sonde doit être multipliée par un coefficient de correction fourni par le fabricant. Le coefficient de correction est spécifique à chaque lot de sondes : par exemple les sondes de 2003 ont un coefficient de correction égal à 1,7.

Un écart de 10 à 20 cbar de tension entre deux sondes situées à la même profondeur est considéré comme normal. Pour cette raison, la méthode IRRINOV® propose d'installer trois sondes par niveau de profondeur. Les tables de décision d'IRRINOV® proposent des seuils de mesures d'humidité du sol pour lancer l'irrigation ou un tour d'eau. Ce seuil est considéré comme atteint lorsque deux sondes sur trois fournissent une mesure au dessus de ce seuil. Les mesures jugées anormales ne sont pas prises en compte. A noter qu'une valeur mesurée de 199 cbar indique qu'il y a un problème de contact électrique entre la sonde Watermark et le sol.

3.4 Présentation des tables de décision

La méthode IRRINOV® (Arvalis, Limagrain, Chambre d'Agriculture du Puy-de-Dôme, 2005) propose plusieurs tables de décision pour déterminer le démarrage d'un tour d'eau. Ces tables dépendent du type de sol, de la durée du tour d'eau⁴, de la culture et de son stade de développement.

Nous définissons la variable Probe30 (et Probe60) qui représente la mesure atteinte par deux sondes sur les trois sondes situées à 30 cm de profondeur (et respectivement à 60 cm de profondeur).

²V2 est un identifiant défini dans (Abendroth *et al.*, 2011) ; il est aussi appelé stade "5 feuilles" conformément à la classification des stades de développement des cultures d'Arvalis

³R5 est un identifiant défini dans (Abendroth *et al.*, 2011) et il est aussi appelé stade "grain à 50% humidité" par la classification d'Arvalis

⁴temps entre deux arosages d'une même parcelle

La table de décision 1 définit le seuil pour commencer un tour d'eau pour une culture de maïs grain dans un sol argilo-calcaire. Cette table s'applique à la culture de maïs lorsque son stade de développement est entre V2 et V7⁵. Dans cette table, les cellules contiennent le seuil de mesure des sondes mentionné dans la section 3.3 en fonction de la durée des tours d'eau de la parcelle considérée.

La première colonne d'une table de décision doit se lire comme "si la durée du tour d'eau propre à la parcelle est entre 9 à 10 jours" et "lorsque deux sondes à 30 cm de profondeur sur trois (Probe30) sont supérieures à la valeur à 30 cbar et que deux sondes à 60 cm de profondeur sur trois (Probe60) ont une valeur supérieur à 10 cbar " ou " lorsque le total (Probe30 + Probe60) est supérieur à 40 cbar ", donc l'irrigation doit commencer. Il convient à noter que pour cette table de décision, les deux premières lignes sont redondantes, car si $Probe30 > 30$ et $Probe60 > 10$ alors $Probe30 + Probe60 > 40$.

Table 1: Valeurs de seuil en fonction de la durée des tours d'eau

	9 à 10 jours	6 à 8 jours	inférieure ou égale à 5 jours
Probe30	30 cbar	50 cbar	60 cbar
Probe60	10 cbar	20 cbar	20 cbar
total	40 cbar	70 cbar	80 cbar

3.5 Système d'irrigation automatique

À partir de cette méthode de décision dédiée à la prise de décision humaine, nous souhaitons développer un système contextuel adaptatif pour automatiser l'irrigation sur le site de l'AgroTechnoPôle d'Irstea. L'AgroTechnoPôle contient une ferme expérimentale située à Montoldre où les chercheurs peuvent tester leurs prototypes tels que des robots, des équipements de mesure, des machines agricoles et des réseaux de capteurs sans fil. La figure 3 présente les différentes parcelles cultivées appartenant à la ferme en 2018. Une station météorologique Davis Pro 2 est située sur le site. Plusieurs noeuds capteurs sont déployés dans les parcelles pour surveiller l'humidité et la température du sol.

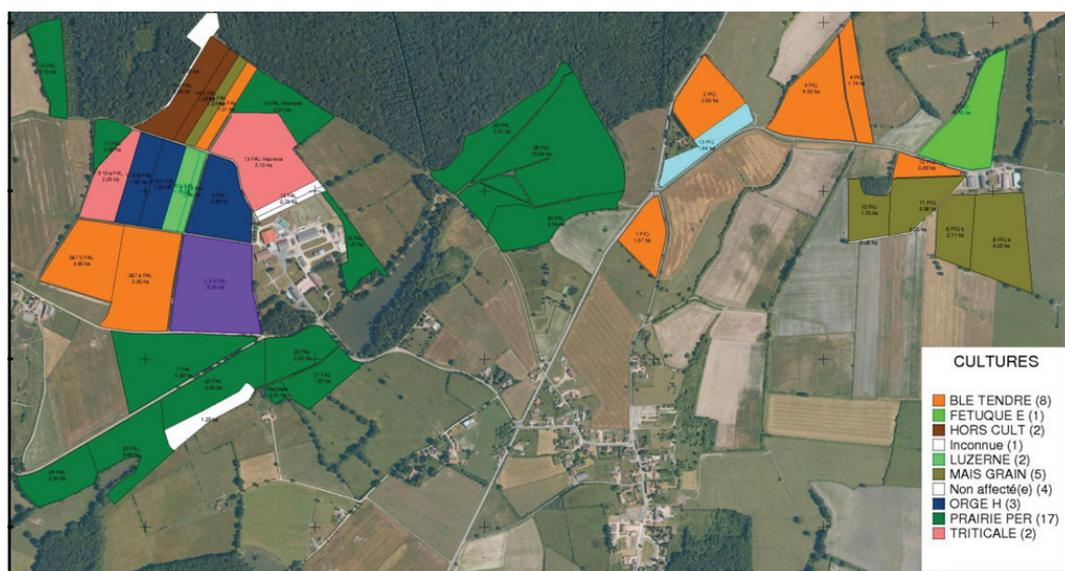


Figure 3: Parcellaire de l'AgroTechnopôle de Montoldre

⁵V7 est un identifiant défini dans (Abendroth *et al.*, 2011) et il est aussi appelé "10 feuilles" par la classification Arvalis

Le système contextuel adaptatif que nous souhaitons développé doit comporter un réseau de capteurs sans fil contenant des noeuds tensiomètres capable de mesurer l'humidité du sol et des noeuds météo capable de mesurer les pluies.

La localisation des équipements de mesure mentionnés dans la section 3.1, nous précise que la localisation des noeuds du réseau est nécessaire et devra être acquise pendant la phase d'acquisition du contexte.

Les fréquences de mesures présentées dans la section 3.2 définissent les fréquences de mesures et de communication des noeuds du réseau. La détection des événements de pluie ou la détection de la fin des tours d'eau déclencheront des actions de mesure des noeuds. Par conséquent les fréquences de mesure et de communication des noeuds devront s'adapter au contexte.

Les recommandations proposées dans la section 3.3 seront traduites par des règles pour valider les données acquises pendant la phase d'acquisition du contexte. Les tables de décision présentées dans la section 3.4 seront traduites par un ensemble de règles de la forme suivante

If (8 < DureeTourEau <11) et (StadeCulture < V7) et ((Probe30 + Probe60) >= 40) Then (EtatIrrigation = TRUE);
--

Un stade de culture est représenté par une donnée qualitative définie dans un référentiel ordonné comme la classification d'Arvalis. Il faudra développer une fonction correspondant à l'opérateur "<" sur cet ensemble de données qualitatives.

Ces règles font partie de la phase de traitement du contexte pour déduire le contexte de haut niveau à partir du contexte de bas niveau.

4 L'extraction des besoins ontologiques

L'objectif de cette section est de présenter les besoins ontologiques de notre système contextuel adaptatif. Pour ce faire, nous avons étudié les données d'entrées nécessaires à la méthode IRRINOV ainsi que ses données de sortie. De plus, nous avons analysé les informations nécessaires pour évaluer la qualité d'un processus d'irrigation. Pour compléter cette étude dédiée à l'irrigation, nous avons utilisé notre expertise sur le déploiement de réseau de capteurs sans fils en milieu ouvert. Nous avons déjà mené plusieurs expérimentations de ce type au sein de l'AgroTechnoPole. Les besoins sont détaillés dans les sections suivantes:

R1. Déploiement : Le réseau de capteurs en champs est déployé chaque année. Si le champs doit être labouré il faut retirer les sondes et les noeuds avant de passer les machines. Par conséquent, l'ontologie doit permettre de stocker les informations de déploiement. Ce besoin se découpe en deux sous-besoins.

R1.1. Temporalité du déploiement: Un déploiement d'un réseau de capteur possède une date de début et une date de fin vu que les noeuds capteurs en champs sont retirés chaque année.

R1.2. Localisation du déploiement: La localisation de chaque noeud capteur doit être précisée. L'objectif est d'identifier sur quelle parcelle le déploiement a eu lieu.

R2. Parcelle: D'une manière générale, un déploiement d'un réseau de capteurs en champs implique une ou plusieurs parcelles. Dans le cas de capteurs en champs, une parcelle représente la plateforme sur laquelle est installé les noeuds capteurs. Pour l'irrigation il est nécessaire aussi de connaître les caractéristiques de cette parcelle, telle que sa géométrie, sa surface et la durée du tour d'eau quand elle est irriguée.

R3. Configuration du réseau: un réseau de capteurs, composé de plusieurs noeuds, est configuré pour permettre à chacun de ses noeuds de communiquer avec au moins l'un de ses voisins. L'objectif étant que les mesures effectuées par les noeuds puissent être

transmises jusqu'au serveur capable de traiter le contexte. Tous les noeuds sont identifiés par une adresse unique. Cette configuration doit aussi être stockée dans l'ontologie. Ce besoin est divisé en quatre sous besoins.

R3.1. Topologie du réseau: La topologie d'un réseau de capteur définit les connexions entre les noeuds du réseau. Deux noeuds sont connectés s'ils peuvent communiquer entre eux. La topologie du réseau doit être stockée dans l'ontologie.

R3.2. Communication du réseau: Les protocoles de communication utilisés entre les noeuds du réseau doivent aussi être enregistrés.

R3.3. Status du noeud: Un noeud peut avoir des status différents: il peut être actif, inactif ou en veille. Le statut d'un noeud à un moment donné doit aussi être conservé. Cette information est importante pour expliquer par exemple des erreurs ou des délais importants lors de la communication entre les noeuds.

R3.4. Rôle du noeud: Un noeud dans un réseau possède un rôle donné indiquant les actions de communication dont il est capable. Il peut être un hôte capable de recevoir ou d'envoyer un message, un routeur capable de recevoir plusieurs messages et de les transmettre ou une passerelle capable d'échanger des messages utilisant des protocoles de communication différents.

R3.5. Localisation du noeud: la location précise des noeuds doit être conservée. Ce besoin est plus précis que R1.2. Dans le cas de la méthode IRRINOV, la localisation des noeuds est dépendante de la manière dont la culture est implantée. De plus il est nécessaire d'avoir les coordonnées géographiques (latitude, longitude) mais aussi la profondeur dans le sol dans le cas des tensiomètres ou la hauteur dans le cas des noeuds météo. Cette localisation précise permet de calculer la distance entre les noeuds pour évaluer la portée de communication d'un noeud.

R4. Equipement: L'ensemble des équipements informatiques, de mesures ou agricoles sont à décrire. Dans le cas de notre système contextuel adaptatif nous pouvons identifier au moins deux catégories d'équipements informatiques : les noeuds capteurs en charge des mesures, les noeuds actionneurs capable de commander un équipement. Nous allons lister de manière exhaustive la liste des équipements nécessaires à notre système contextuel adaptatif dédié à l'irrigation automatique d'une parcelle :

- Noeuds capteurs
 - Des noeuds possédant des sondes Watermark
 - Une station météorologique agricole avec un pluviomètre et un thermomètre
 - Un noeud pluviomètre
- Noeuds actionneurs
 - Les arroseurs
- Noeuds routeurs: noeud en charge de la collecte et de la transmission des mesures brutes fournies par les noeuds capteurs. ils sont aussi en charge de la transmission des commandes jusqu'aux noeuds actionneurs.
- Serveur: équipement informatique sur lequel est installé l'OAD capable de déduire les besoins en irrigation à partir des mesures des tensiomètres et du pluviomètre.

Ainsi nous pouvons spécifier quatre nouveaux besoins:

R4.1. Capteur: la description des noeuds capteurs doit être présente dans l'ontologie.

R4.2. Actionneur: les noeuds actionneurs doivent être décrits dans l'ontologie.

R4.3. Composition de l'équipement: La composition des équipements informatiques doit être représentée dans l'ontologie.

R4.4. Equipement spécifique: Les équipements agricoles comme le système d'irrigation doivent aussi être décrit dans l'ontologie.

R5. Mesure: Les mesures effectuées par les noeuds capteurs sont aussi décrites dans l'ontologie. La description doit contenir: la valeur mesurée, son unité de mesure et la date à laquelle la mesure a été effectuée, la durée de la mesure s'il s'agit d'une mesure sur un intervalle de temps. Par exemple une mesure de température est une mesure instantanée, une mesure de pluie est une mesure sur un intervalle de temps. Pour notre cas d'utilisation, nous pouvons lister les unités de mesure suivantes :

- Degrés Celsius (°C) pour les mesures de température de l'air
- Millimètre (mm) pour les mesures de qualités d'eau (pluie ou irrigation)
- Centibar (cbar) pour les tensions du sol
- Unité de mesure brute des sondes Watermark : la mesure de l'humidité du sol effectuée par les sondes Watermark. Cette valeur est ensuite transformée en cbar lorsqu'elle est multipliée par le coefficient correcteur.
- Le référentiel utilisé pour identifier les stades de développement de la culture

R5.1. Unité de mesure spécifique Lorsque les mesures ne sont pas associées à des unités traditionnelles, il sera nécessaire de décrire ces nouvelles unités de mesures.

R6. Phénomène observé: La localisation des noeuds capteurs précise quel phénomène ils sont capables d'observer. Par exemple, un thermomètre situé sur un mur extérieur est dédié à l'observation de l'air, un thermomètre enterré dans la terre est dédié à l'observation du sol. Pour notre cas d'usage, les phénomènes observés sont l'air, les précipitations, l'irrigation, le sol et la culture. La méthode IRRINOV demande à ce que certains phénomènes soient précisés.

R6.1. Phénomène observé spécifique: Dans le cas des sondes Watermark de la méthode IRRINOV, le phénomène ne se limite pas à l'observation du sol, mais à l'observation du sol à une profondeur donnée. Par conséquent, il est nécessaire de pouvoir indiquer cette profondeur de sol dans l'ontologie. Si aucune ontologie ne décrit déjà ces phénomènes naturels il faudra pouvoir les définir et les décrire.

R7. Propriété: Les propriétés des phénomènes mesurées par les capteurs sont à représenter dans l'ontologie. La liste de propriétés suivantes correspond au cas d'utilisation de Montoldre :

- Humidité du sol à une profondeur donnée,
- Température du sol à une profondeur donnée,
- Quantité d'eau reçue pendant un tour d'eau,
- Quantité de précipitation reçue dans une journée,
- Température maximal et minimal de l'air pendant une journée,
- Stade de développement des plantes.

R7.1. Propriété spécifique: Lorsqu'une propriété n'est pas déjà définie dans une ontologie existante, il sera nécessaire de pouvoir définir cette nouvelle propriété propre au cas d'usage agricole.

R8. Action: Les actions capables d'être commandées à distance doivent être indiquées.

R8.1. Action spécifique: Pour le cas d'usage de Montoldre, la commande porte sur une action d'irrigation. Cette action doit être complétée par plusieurs paramètres tel que la durée et le débit d'arrosage. La méthode IRRINOV ne fournit aucune indication sur ces deux paramètres.

R9. Culture: La culture cultivée sur la parcelle doit être indiquée dans l'ontologie. La méthode IRRINOV demande de spécifier les dates à laquelle la culture a atteint un certain stade de développement. Pour automatiser la détection où la culture a atteint un stade de développement il est nécessaire de connaître la date de semis et la variété semée.

5 Description des ontologies SSN et SAREF

Dans ce projet, nous ne considérons que deux ontologies candidates pour modéliser le contexte d'un système adaptatif dédié à l'irrigation automatique. Nous avons fait le choix de limiter notre étude à ces deux ontologies car elles sont portées par des organisations internationales reconnues dans le domaine et toujours en cours d'évolution. L'ontologie Semantic Sensor Network (SSN) est proposée et maintenue par World Wide Web Consortium⁶ (W3C). L'ontologie Smart Appliances REference (SAREF) est proposée par l'institut européen des normes de télécommunication⁷ (ETSI). Les ontologies SOSA/SSN et SAREF sont présentées en détail dans les sections suivantes.

La première version de SSN a été développée par le groupe de travail de W3C intitulé Semantic Sensor Incubator Group (SSN-XG). Le rapport final de ce groupe a été publié sur le site du W3C le 28 juin 2011. L'objectif de cette ontologie est de permettre à un réseau, ses capteurs et les données associées (mesures) d'être décrits par des modèles de données structurés afin d'en faciliter la gestion, l'interrogation et la compréhension (Compton *et al.*, 2012). Une nouvelle version de cette ontologie a été développée sous l'égide du W3C et de l'Open Geospatial Consortium (OGC) pour intégrer la prise en compte de données spatiales. Cette nouvelle version inclue le patron de conception Sensor, Observation, Sampler et Actuator (SOSA)⁸ qui est une évolution du patron de conception Stimulus, Sensor, Observation (SSO)^{footnote}<http://www.w3.org/ns/ssn> de l'ontologie originale SSN. La nouvelle version de SSN que nous noterons SSN/SOSA devrait être plus simple à utiliser. Elle intègre des nouvelles classes pour représenter les actionneurs et les échantillons. Elle est devenue une recommandation du W3C et de l'OGC en octobre 2017. Comme le montre la figure 4 les principales entités de SSN/SOSA sont les capteurs et leurs mesures, les processus d'échantillonnage et leurs échantillons, les actionneurs et leurs commandes.

Ainsi, pour décrire les mesures, SSN/SOSA propose la classe `sosa:Observation`. Une mesure est effectuée par un capteur (`sosa:Sensor`). Une observation est une mesure d'une propriété observable (`sosa:ObservableProperty`) d'un phénomène (`sosa:FeatureOfInterest`).

SSN/SOSA décrit les échantillonnages à l'aide de la classe `sosa:Sampling`. Un échantillonnage est produit par un échantillonneur (`sosa:Sampler`). L'échantillonnage concerne un phénomène (`sosa:FeatureOfInterest`). Les résultats de l'échantillonnage sont des échantillons (`sosa:Sample`).

Enfin, pour décrire les commandes ou actions, SSN/SOSA définit la classe `sosa:Actuation`. Une commande est produite par un actionneur (`sosa:Actuator`). Une commande porte sur une propriété actionnable (`sosa:ActuationProperty`) d'un phénomène ou équipement (`sosa:FeatureOfInterest`).

La figure 4 présente les liens de spécialisation entre l'ancienne version de SSN et sa nouvelle version SSN/SOSA. La classe `ssn:Property` se spécialise en `sosa:ObservableProperty` et `sosa:ActuableProperty`. La classe `ssn:System` se spécialise en `sosa:Actuator`, `sosa:Sensor` et `sosa:Sampler`.

⁶<https://www.w3.org>

⁷<http://www.etsi.org>

⁸<http://www.w3.org/ns/sosa>

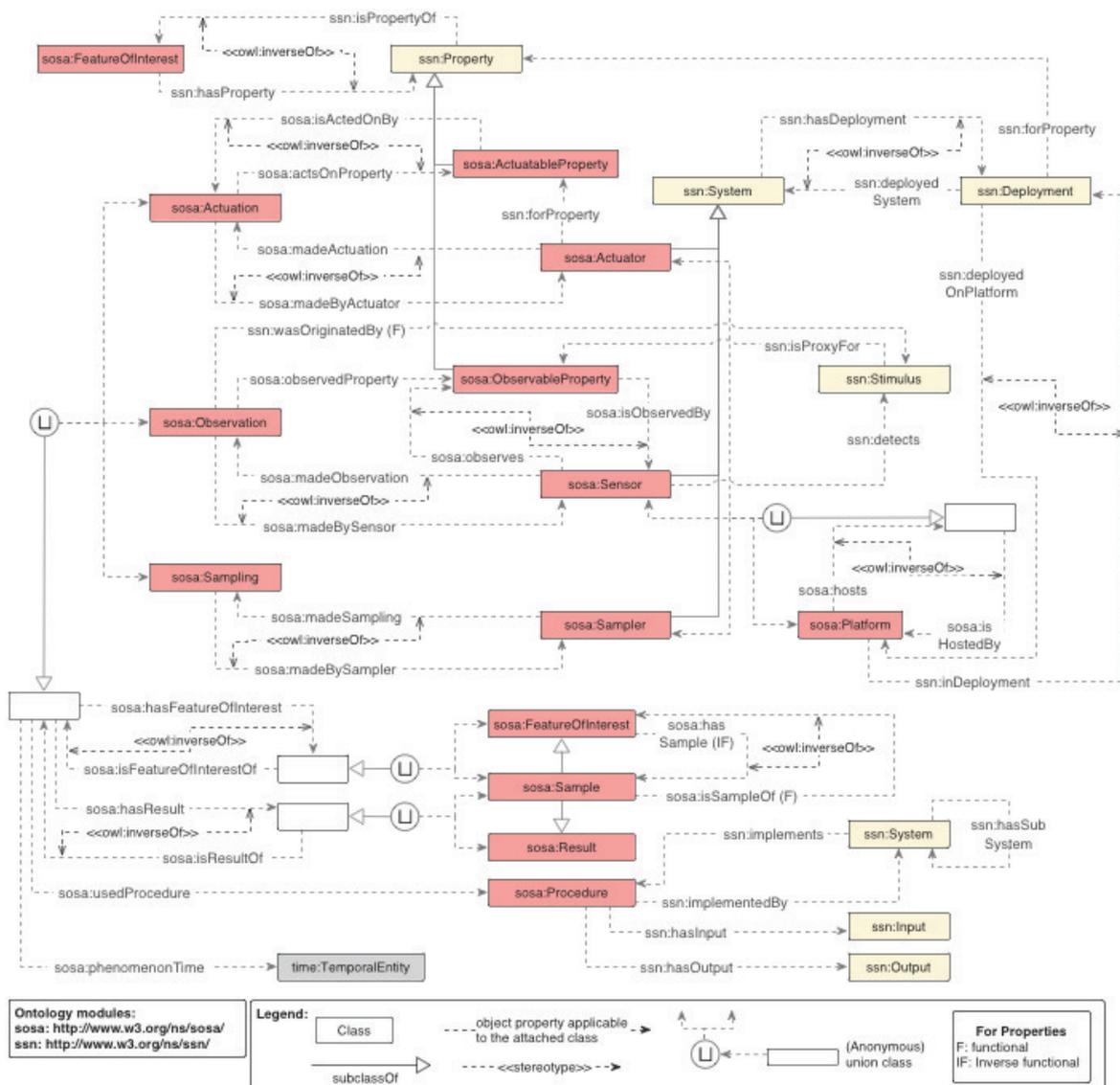


Figure 4: SSN-SOSA graphical overview

L'ontologie SAREF⁹ est dédiée à la domotique. Son objectif est de faciliter l'interopérabilité entre objets intelligents et le développement de l'internet des objets. SAREF est une spécification technique de l'ETSI (ETSI, 2015, 2017a). Dans un premier temps, SAREF propose un modèle de base. Ce modèle est ensuite étendu et spécialisé pour couvrir les besoins spécifiques de nouveau domaine. Par exemple il existe une extension spécifique à SAREF pour les bâtiments: SAREF4BLDG (ETSI, 2017b).

La figure 5 présente une version synthétique de l'ontologie SAREF. La classe principale `saref:Device` définit les objets intelligents. Elle se spécialise en capteur (`saref:Sensor`) et en actionneur (`saref:Actuator`). Un objet possède une ou plusieurs fonctions `saref:Fonction`. Une fonction est associée à une ou plusieurs commandes (`saref:Command`). Les commandes changent l'état (`saref:State`) de l'objet. Un objet affiche des services (`saref:Service`) pour rendre ses fonctions accessibles depuis un réseau.

Un objet est aussi décrit par la tâche (`saref:Task`) qu'il peut accomplir pour

⁹<http://w3id.org/saref> <http://saref.linkeddata.es/>

l'utilisateur. Par exemple, un arroseur accomplit une tâche d'irrigation. Un objet intelligent est capable d'effectuer des mesures (`saref:Measurement`). Une mesure a une unité (`saref:UnitOfMeasure`). Une mesure concerne une propriété (`saref:Property`).

Enfin, un objet se caractérise aussi par sa consommation énergétique (`saref:Profile`) ou sa consommation d'autres ressources (`saref:Commodity`). Une consommation correspond à une période donnée (`saref:Time`) et a un prix (`saref:Price`).

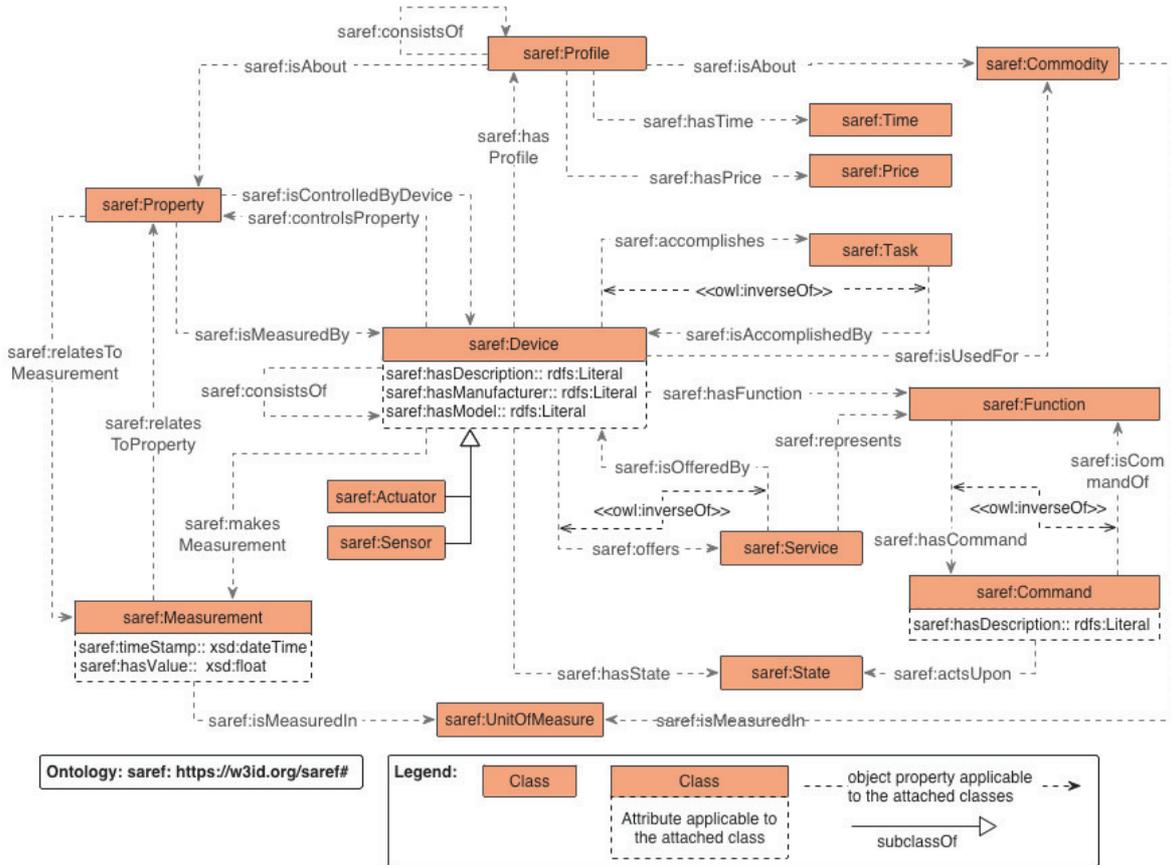


Figure 5: SAREF graphical overview.

6 Analyse des besoins ontologiques

Dans cette section, une analyse de la couverture des besoins ontologiques par les ontologies SNN/SOSA et SAREF est présentée. Pour se faire, une table de correspondance entre les besoins et les entités définies dans ces ontologies est tout d'abord fournie. Une discussion sur les besoins couverts et sur les questions qui en découlent est ensuite proposée.

6.1 Couverture des besoins ontologiques

La table 2 ci-après présente les relations entre les besoins extraits de la section 4 et les entités définies dans les ontologies SSN/SOSA et SAREF. Dans cette table de correspondance chaque ligne représente un besoin ontologique. Ces besoins sont listés dans la colonne de gauche. Les informations présentées dans les colonnes du milieu et de droite se rapportent respectivement aux ontologies SSN/SOSA et SAREF. Cette table de correspondance s'interprète de la manière suivante : une cellule vide indique qu'un besoin n'est pas couvert par une ontologie

; (b) lorsqu'un besoin est couvert par une ontologie on indique dans la case correspondante les éléments (classes ou propriétés) de l'ontologie permettant de couvrir ce dernier (pour cela on utilise la notation suivante : préfixe de l'ontologie : identifiant de l'entité) ; (c) lorsqu'une note apparaissant sur la documentation fournie avec une ontologie peut être utile pour un besoin (que ce dernier soit couvert ou non), on indique le numéro de cette note entre parenthèse dans la case correspondante.

Table 2: Couverture des besoins ontologiques par SSN et SAREF.

Requirement	SSN/SOSA	SAREF
R1 Déploiement	ssn:Deployment	
R1.1 Temporalité du déploiement		
R1.2 Localisation du déploiement	(1)	
R2 Parcelle	sosa:Platform	
R3 Configuration réseau		
R3.1 Topologie du réseau		
R3.2 Communication du réseau		
R3.3 Status du noeud		saref:State
R3.4 Role du noeud		saref:Task
R3.5 Localisation du noeud	(1)	
R4 Equipement	ssn:System	saref:Device
R4.1 Capteur	sosa:Sensor	saref:Sensor
R4.2 Actionneur	sosa:Actuator	saref:Actuator
R4.3 Composition de l'équipement	ssn:hasSubSystem	saref:consistsOf
R4.4 Equipement spécifique		
R5 Mesures	sosa:Observation (2)	saref:Measurement saref:UnitOfMeasure (3)
R5.1 Unité de mesures spécifique		
R6 Phénomène observé	sosa:FeatureOfInterest	
R6.1 Phénomène observé spécifique	(1)	
R7 Propriété	ssn:Property	saref:Property
R7.1 Propriété spécifique		
R8 Action	sosa:Procedure	saref:Function saref:Command
R8.1 Action spécifique		
R9 Culture		

Comme le montre la table 2, certains besoins ne sont pas directement couverts par les ontologies analysées, mais leurs documentations incluent des directives sur la façon de les traiter. En ce qui concerne les besoins R1.2, R3.5 et R6.1, il convient de mentionner que la documentation de SSN/SOSA suggère d'utiliser geoSPARQL (Perry & Herring, 2012) pour modéliser l'information géographique (note (1) dans la table). Il convient également de noter que la représentation correcte de R3.5 et R6.1 est d'une importance particulière car ces informations permettent de valider les mesures nécessaires à la méthode IRRINOV, comme illustré par exemple dans la figure 2.

En ce qui concerne R5, la documentation de SSN/SOSA propose d'utiliser plusieurs ontologies (note (2) dans la table) : "Quantities, Units, Dimensions and data Types" (QUDT) (Hodgson *et al.*, 2014), "Ontology of units of Measurements" (OM) (Rijgersberg *et al.*, 2013) et "Unified Code for Units of Measure" (UCUM), (Lefrançois & Zimmermann, 2018). La documentation de SAREF mentionne uniquement la deuxième ontologie (note (3) dans le table).

6.2 Discussion et questions ouvertes

Dans ce qui suit, les informations extraites de l'analyse de la couverture des besoins ontologiques présentées ci-dessus sont détaillées.

Tout d'abord, il convient de mentionner que les deux ontologies analysées ont été définies comme des ontologies générales couvrant des concepts de haut niveau. Elles doivent être spécialisés et associées à d'autres ontologies pour décrire des cas d'usages spécifiques. En ce sens, nous ne critiquons pas l'absence de couverture des besoins R4.4, R5.1, R7.1 et R8.1 car ils se réfèrent aux connaissances spécifiques du domaine. Cependant, il est important de définir et de prendre en compte ces besoins lors du développement d'extensions ou de

nouvelles ontologies dédié à un cas d'usage agricole. Plus précisément, les besoins présentés dans ce travail représenteraient un bon point de départ pour le développement d'une extension de SAREF pour l'agriculture.

Il faut souligner ensuite (c'est la principale observation de cette étude), qu'aucune des ontologies analysées ne permet la description de la configuration du réseau (R3), de la topologie (R3.1) et des communications (R3.2).

En ce qui concerne la nécessité de représenter les différents déploiements (R1) dans lesquels les équipements pourraient être impliqués, l'ontologie SSN/SOSA fournit une certaine couverture parce qu'elle prend en compte les déploiements, les parcelles et les composants des équipements. Cependant, bien qu'elle recommande de représenter les informations géographiques à l'aide d'autres ontologies, elle ne traite pas des caractéristiques temporelles des déploiements qui doivent être représentées dans le domaine agricole. SAREF de son côté, ne permet pas la représentation du déploiement. Par conséquent, nous pouvons affirmer qu'aucune des ontologies ne répond complètement au besoin de décrire le déploiement comme une entité spatio-temporelle (R1.1 et R1.2).

Concernant les actions (R8), on remarque que les deux ontologies proposent des suggestions pour les modéliser. L'approche de SSN/SOSA est liée aux algorithmes, aux procédures, etc. Elle inclut des informations sur les entrées requises et les sorties générées. L'ontologie SAREF modélise les fonctionnalités des équipements. Elle inclut des informations pratiques telles que les commandes qui peuvent être exécutées (par exemple «ouvrir», «fermer», etc.). Cependant, aucune des deux ontologies ne permet de représenter les informations orientées web telle que « où peut être exécutée cette action » et « où les données peuvent-elles être récupérées ». En d'autres termes aucune des deux ne permet la représentation de services Web ou la description d'objets Web.

La représentation des cultures (R9) mérite quelques explications. Alors que dans la table 2, il est indiqué que ce besoin n'est pas couvert par les ontologies analysées, ce n'est pas exactement le cas pour SSN/SOSA. Une culture peut être modélisée comme un phénomène `sosa:FeatureOfInterest`. Il est envisageable dans un futur proche d'imaginer que des capteurs vont pouvoir observer le stade de développement atteint par une culture `ssn:Property`. Dans le cas où le capteur est positionné sur une plante, cette plante est définie comme étant la plateforme `sosa:Platform` sur laquelle est positionné le capteur.

En ce qui concerne les questions laissées ouvertes pour la représentation du cas d'usage de Montoldre, il convient de noter que les entités `saref:Profile` et `saref:Commodity` de l'ontologie SAREF pourraient être intéressantes pour représenter la consommation énergétique et la consommation d'eau réalisées par le système d'irrigation intelligent.

Enfin, un autre problème qui n'est pas représenté dans ces ontologies est la validation des mesures effectuées par les capteurs. Par exemple, une mesure de 200 cbar pour une sonde Watermark est considérée comme un indicateur d'un problème de fonctionnement.

7 Travaux connexes

Il existe plusieurs systèmes contextuels adaptatifs qui utilisent des ontologies pour intégrer des données hétérogènes et raisonner sur ces données à l'aide de règles. Nous pouvons citer par exemple les travaux de (Goumopoulos *et al.*, 2009) qui présente une ontologie dédiée à l'agriculture de précision. Cette ontologie modélise les caractéristiques des plantes, l'état hydrique de la plante, les paramètres environnementaux, les capteurs et les actionneurs. Ces données sont ensuite utilisées dans un Outil d'Aide à la Décision pour piloter l'irrigation.

Une autre application utilisant des ontologies dans le domaine de la culture des plantes est l'approche détaillée dans (Li *et al.*, 2013). La méthode présentée dans ce travail combine une ontologie du domaine et une ontologie des tâches. L'ontologie du domaine représente le sol, les semences et les machines agricoles tandis que l'ontologie des tâches porte sur les processus entrant en jeu dans la culture des plantes : la sélection du sol, la sélection des graines, la fertilisation et l'irrigation.

Nous pouvons également mentionner l'ontologie présentée dans (Wang *et al.*, 2015) pour la production d'agrumes. Dans ces travaux, les auteurs présentent une ontologie dédiée à la

culture des agrumes. L'ontologie réutilise certains termes de l'ontologie Agricultural Ontology Service (AOS). Elle comprend la modélisation du déséquilibre en nutriments, la modélisation de la fertilisation, de l'irrigation et du drainage des plantes.

Il est à noter que les ontologies mentionnées dans ces articles ne sont pas accessibles en ligne, il n'est donc pas possible de les réutiliser et de vérifier leur contenu.

Le but de la nôtre étude n'est pas de fournir une ontologie pour des systèmes contextuels dédié à l'irrigation ni d'évaluer les ontologies existantes dans le domaine agricole. L'objectif de notre travail est d'analyser deux ontologies standards utilisées dans le domaine de l'Internet des Objets qui pourraient être réutilisées pour développer un système d'irrigation intelligent. Dans ce contexte, nous pouvons mentionner le travail présenté par (Moreira *et al.*, 2017) qui aligne les ontologies SSN et SAREF pour décrire un équipement. Il est à noter que cette analyse se base sur la première version de SSN.

Enfin, les ontologies SSN/SOSA et SAREF ont aussi été alignées dans le travail présenté par (Lefrançois, 2017). Ce dernier présente un alignement entre l'ontologie SEAS et les deux ontologies. Ce travail propose des bonnes pratiques et des patrons pour faciliter la maintenance des ontologies SEAS et SAREF. En résumé, à notre connaissance, il n'existe pas d'étude sur la réutilisation d'ontologies standard pour développer des cas d'usage agricoles.

8 Conclusions et perspectives

Cet article a présenté un ensemble de besoins ontologiques pour développer des systèmes contextuels adaptatifs dans le domaine agricole. Ces besoins ont été spécifiés à partir d'un site pilote spécifique et d'une méthodologie d'irrigation donnée. Cet article n'est qu'une étude préliminaire. Ce travail est d'intérêt aussi pour le développement de l'extension de SAREF pour le domaine agricole (SAREF4AGRI). Les ontologies SSN et SAREF ont été comparées pour identifier en quoi elles répondaient aux besoins. Certains besoins ne sont pas couverts car ils sont trop spécifiques au cas d'usage considéré. Ces ontologies sont des ontologies de domaine qui doivent être spécialisées pour couvrir ce cas précis.

Il existe cependant des besoins indépendants du cas d'usage qui ne sont couverts par aucune des deux ontologies considérées, par exemple les caractéristiques du réseau.

Pour construire l'ontologie qui permettra de modéliser l'intégralité du cas d'usage de l'AgroTechnoPole de Montoldre, il faudra combiner plusieurs ontologies. Nous pourrions dans un premier temps aligner les ontologies SSN et SAREF pour évaluer laquelle couvre le plus de besoins. D'autres ontologies auront besoin d'être associées, comme une ontologie sur la description du réseau ou une ontologie sur la description des services web telle que Web of Things¹⁰ et oneM2M¹¹.

Enfin, une dernière piste de travail est de trouver l'ensemble des règles à appliquer sur les données du contexte pour automatiser l'irrigation. Rappelons que la méthode IRRINOV est une méthode manuelle basée sur une décision humaine à la lecture de mesures des sondes.

Acknowledgements

Cette recherche est financée au travers de différents projets : (1) le projet CPER "ConnecSens", (2) le projet "Programme I-Site Clermont WOW! Wide Open to the World - CAP20-25" (16-IDEX-0001) et (3) le projet ETSI STF534 "SAREF extensions". Le projet CPER "ConnecSens" est cofinancé par la région Auvergne-Rhône-Alpes en France, ainsi que par l'Union européenne via le fond FEDER.

References

ABENDROTH L. J., ELMORE R. W., BOYER M. J. & MARLAY S. K. (2011). Corn growth and development.

¹⁰<https://www.w3.org/TR/wot-thing-description/#vocabularyDefinitionSection>

¹¹<http://www.onem2m.org/technical/onem2m-ontologies>

- ABOWD G. D., DEY A. K., BROWN P. J., DAVIES N., SMITH M. & STEGGLES P. (1999). Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In G. GOOS, J. HARTMANIS, J. VAN LEEUWEN & H.-W. GELLERSEN, Eds., *Handheld and Ubiquitous Computing*, volume 1707, p. 304–307. Springer Berlin Heidelberg.
- ARVALIS, LIMAGRAIN, CHAMBRE D’AGRICULTURE DU PUY-DE-DOME (2005). *Guide de l'utilisateur, Carnet de terrain, Pilotez l'irrigation avec la méthode IRRINOV*. Rapport interne, Arvalis.
- COMPTON M., BARNAGHI P., BERMUDEZ L., GARCÍA-CASTRO R., CORCHO O., COX S., GRAY-BEAL J., HAUSWIRTH M., HENSON C. & HERZOG A. (2012). The SSN ontology of the W3c semantic sensor network incubator group. *Web semantics: science, services and agents on the World Wide Web*, **17**, 25–32.
- EFSTRATIOU C. (2004). *Coordinated Adaptation for Adaptive Context-Aware Applications*. Lancaster University.
- ETSI (2015). *ETSI TS 264 411 - v1.1.1. SmartM2M; Smart Appliances; Reference Ontology and oneM2M Mapping*. Rapport interne, ETSI.
- ETSI (2017a). *ETSI TR 103 411 - v1.1.1. SmartM2M; Smart Appliances; SAREF extension investigation*. Rapport interne, ETSI.
- ETSI (2017b). *ETSI TS 103 410-3 - v1.1.1. SmartM2M; Smart Appliances Extension to SAREF; Part3: Building Domain*. Rapport interne, ETSI.
- GOUMOPOULOS C., KAMEAS A. D. & CASSELLS A. (2009). An ontology-driven system architecture for precision agriculture applications. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*, **4**(1-2), 72–84.
- HODGSON R., KELLER P. J., HODGES J. & SPIVAK J. (2014). Qudt-quantities, units, dimensions and data types ontologies. USA, Available from: <http://qudt.org> [March 2014].
- LEFRANÇOIS M. (2017). Planned ETSI SAREF extensions based on the w3c&ogc sosa/ssn-compatible SEAS ontology pattern.
- LEFRANÇOIS M. & ZIMMERMANN A. (2018). The Unified Code for Units of Measure in RDF: cdt:ucum and other UCUM Datatypes. *ESWC 2018*.
- LI D., KANG L., CHENG X., LI D., JI L., WANG K. & CHEN Y. (2013). An ontology-based knowledge representation and implement method for crop cultivation standard. *Mathematical and Computer Modelling*, **58**(3-4), 466–473.
- MOREIRA J. L. R., DANIELE L., PIRES L. F., VAN SINDEREN M., WASIELEWSKA K., SZMEJA P., PAWLOWSKI W., GANZHA M. & PAPRZYCKI M. (2017). Towards iot platforms' integration semantic translations between W3C SSN and ETSI SAREF.
- PERERA C., ZASLAVSKY A., CHRISTEN P. & GEORGAKOPOULOS D. (2014). Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **16**(1), 414–454.
- PERRY M. & HERRING J. (2012). Ogc geosparql-a geographic query language for rdf data. *OGC implementation standard*.
- RIJGERSBERG H., VAN ASSEM M. & TOP J. (2013). Ontology of units of measure and related concepts. *Semantic Web*, **4**(1), 3–13.
- ROUSSEY C., BERNARD S., ANDRÉ G., CORCHO O., DE SOUSA G., BOFFETY D. & CHANET J.-P. (2014). Weather Station Data Publication at Irstea: an Implementation Report. *Terra Cognita and Semantic Sensor Networks*, p.89.
- SCHRIJVER R., EUROPEAN PARLIAMENT, EUROPEAN PARLIAMENTARY RESEARCH SERVICE & SCIENTIFIC FORESIGHT UNIT (2016). *Precision agriculture and the future of farming in Europe: scientific foresight study : study*. OCLC: 1015313923.
- SUN J. (2017). *Intelligent Flood Adaptive Context-aware System*. PhD thesis.
- SUN J., DE SOUSA G., ROUSSEY C., CHANET J.-P., PINET F. & HOU K. M. (2016). A new formalisation for wireless sensor network adaptive context-aware system: Application to an environmental use case. In *Tenth International Conference on Sensor Technologies and Applications SENSORCOMM 2016*, p. 49–55.
- UNESCO (2014). The united nations world water development report 2014.
- WANG Y., WANG Y., WANG J., YUAN Y. & ZHANG Z. (2015). An ontology-based approach to integration of hilly citrus production knowledge. *Computers and Electronics in Agriculture*, **113**, 24–43.