



HAL
open science

Réseaux de capteurs sans fil et approches contextuelles au service de l'agriculture

Jean-Pierre Chanet

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Chanet. Réseaux de capteurs sans fil et approches contextuelles au service de l'agriculture. Sciences de l'environnement. HDR Ecole doctorale Sciences pour l'ingénieur de Clermont-Ferrand, 2016. tel-02604995

HAL Id: tel-02604995

<https://hal.inrae.fr/tel-02604995>

Submitted on 16 May 2020

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.

N ° d'Ordre :

Université Blaise Pascal

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR
DE CLERMONT-FERRAND

mémoire en vue de l'obtention de l'
Habilitation à Diriger des Recherches

présenté par

Jean-Pierre CHANET

**Réseaux de capteurs sans fil et approches contextuelles
au service de l'agriculture**

Soutenue publiquement le 21 novembre 2016 devant le jury :

C. Germain	Professeur, Bordeaux Sciences Agro	Rapporteur
E. Pissaloux	Professeur, ISIR	Rapporteur
M. Rombaut	Professeur, GIPSA-lab	Rapporteur
A. Quilliot	Professeur, Limos	Examineur
K.M. Hou	Professeur, Limos	Examineur

Unité de Recherche "Technologies et Systèmes d'information pour les agrosystèmes"
Irstea, Clermont-Ferrand

*A Jean et Marie-Louise,
A Louis.*

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier les professeurs Christian Germain, Edwige Pissaloux et Michèle Rombaut d'avoir accepté d'être rapporteurs de mon travail et pour les échanges lors de la soutenance. Je tiens également à remercier le professeur Alain Quilliot d'avoir présidé mon jury et d'avoir encouragé et soutenu depuis de nombreuses années la collaboration entre nos deux laboratoires.

Je souhaite ensuite remercier chaleureusement le professeur Kun Mean Hou, qui a été mon directeur de thèse et avec qui je travaille depuis près de quinze ans au travers de co-encadrement de thèses, de projets, d'organisation de workshop. Il a accepté une nouvelle fois de m'accompagner en étant mon tuteur pour cette habilitation, je lui en suis reconnaissant. Ces conseils furent une fois de plus d'une grande aide.

Je remercie la direction d'Irstea de m'avoir fait confiance en me nommant à la direction de l'équipe COPAIN puis à celle de l'unité de recherche TSCF et plus particulièrement Emmanuel Hugo, Directeur régional, Véronique Bellon-Maurel, Directrice du département Ecotechnologie et Pierrick Givone Directeur à la recherche et à l'innovation. Merci également pour leurs encouragements lors de la rédaction de cette habilitation.

Une habilitation à diriger des recherches est aussi une aventure collective et je tiens donc à remercier tous les doctorants qui ont rendu ce travail possible. Merci donc à Vincent Abt, Fabien Amarger, Yibo Chen, Rimel Bendadouche, Aurélien Jacquot, Vincent Soullignac et Jie Sun.

Les co-encadrements de ces thèses m'ont permis de travailler avec différentes personnes. Je tiens plus particulièrement à remercier deux personnes, Gil de Sousa et Catherine Roussey mes collègues d'Irstea avec qui nous avons souvent et longuement échangé sur les réseaux de capteurs et les ontologies. Et je suis sûr que nous poursuivrons à apporter nos visions complémentaires à nos doctorants.

Ces travaux de thèses m'ont également permis de travailler avec des personnes de différentes communautés : informatique, mécanique, gestion des connaissances... Je tiens donc à les remercier : Jean-Louis Ermine, Olivier Devise, Nathalie Hernandez, Ollivier Haemmerlé, Jean-Luc Paris. Nos échanges furent très enrichissants et, je l'espère, se poursuivront dans le cadre de nouvelles thèses ou de nouveaux projets.

Je remercie également mes autres collègues de l'équipe COPAIN, Stephan Bernard, Sandro Bimonte, François Pinet et plus particulièrement Géraldine André et Daniel Bofety qui ont rendu possibles les expérimentations en liaison avec ces travaux. J'associe à ces remerciements Christophe de Vaultx et Ji-Jian Li, membres de l'équipe SMIR, qui m'a accueilli comme un des siens depuis de nombreuses années.

Merci enfin à Myriam, pour ses encouragements, son soutien permanent et ses conseils ainsi que pour tout le reste.

Résumé

Dans les prochaines années, les filières agricoles devront relever de nombreux défis : accroître la production pour faire face à la croissance de la population, augmenter la qualité pour répondre à la demande des consommateurs, préserver les ressources naturelles et la biodiversité, et être économiquement viable pour l'ensemble des acteurs. Cela nécessite de nombreuses mutations dont certaines seront rendues possibles ou facilitées par la révolution numérique : Internet des Objets, Big Data, intelligence artificielle... Les processus de décision devront pouvoir mobiliser de nombreuses données issues de multiples sources et permettant d'appréhender dans sa globalité le contexte agricole. Mes recherches s'inscrivent dans ce développement de l'agriculture numérique.

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire se sont focalisés sur l'acquisition de données agri-environnementales par des réseaux de capteurs sans fil. Leurs principaux objectifs étaient d'assurer un bon fonctionnement des réseaux et une fiabilité permettant d'avoir des données pertinentes en vue de la prise de décision. La contextualisation du fonctionnement des réseaux et des données permet une adaptation aux différentes contraintes subies par le système : environnementales, énergétiques, qualité... La modélisation de contexte a tout naturellement orienté les recherches vers les ontologies et l'intégration de connaissances dans les systèmes pour une meilleure gestion de l'information et des données au service d'une agriculture durable.

Mots-clés : Réseau de capteurs sans fil, Approche contextuelle, Ontologie, Protocole de routage, Connaissance, Agriculture, RPL, SSN

Abstract

In the coming years, the agricultural sector will face many challenges : increase production to cope with the population growth, increase the quality to meet consumer demand, preserve natural resources and biodiversity, and be economically viable for all players. This requires many changes, some of which will be made possible or facilitated by the digital revolution : Internet of Things, Big Data, artificial intelligence ... The decision process will be able to mobilize a lot of data from multiple sources and to apprehend in its global agricultural context. My research is part of the development of digital agriculture.

The research presented in this thesis is focused on the acquisition of agri-environmental data from wireless sensor networks. Their main objectives were to ensure proper operation of the networks and reliability allowing to have relevant data for decision making. Contextualization of the network operation and data enables adaptation to various stresses to the system : environmental, energy, quality... The context-aware approach has naturally directed research towards ontologies and integration of knowledge in systems for better management of information and data in the service of sustainable agriculture.

Keywords: Wireless Sensor Network, Context-aware approach, Ontology, Knowledge, Agriculture, RPL, SSN

Table des matières

INTRODUCTION	1
PROJET DE RECHERCHE	7
1 Les capteurs et l'agriculture	9
1.1 Une agriculture en pleine évolution	10
1.2 Des besoins de données croissants	12
1.3 Les réseaux de capteurs sans fil en agriculture	14
2 Une approche contextuelle pour les réseaux de capteurs sans fil	21
2.1 Les approches contextuelles	22
2.2 Une approche contextuelle multi-échelle	24
2.3 Conclusion	36
3 Informations contextuelles et agriculture	39
3.1 Contexte et agriculture, au-delà des capteurs	40
3.2 Gestion des connaissances et ingénierie des connaissances pour l'agri- culture	43
3.3 Conclusion	47
BILAN D'ACTIVITÉ	49
1 Curriculum Vitae	51
1.1 Informations personnelles	51

1.2	Expérience professionnelle	51
1.3	Formation	52
1.4	Compétences	52
1.5	Implication dans des projets depuis 2007	53
2	Titres et travaux	57
2.1	Co-encadrements de thèses	57
2.2	Encadrement d'étudiants	60
2.3	Participations à des jurys de thèse	61
2.4	Participations à des réseaux de recherche et de développement	62
2.5	Membre de comités scientifiques et éditoriaux	62
2.6	Membre de comités d'organisation	63
2.7	Expertises	63
3	Liste de publications	65
3.1	Articles de revues à comité de lecture	65
3.2	Articles de revues sans comité de lecture	67
3.3	Chapitres d'ouvrages scientifiques	68
3.4	Chapitres d'ouvrages techniques	68
3.5	Communications avec actes, colloques internationaux	68
3.6	Communications avec actes, colloques nationaux	74
3.7	Posters	76
3.8	Communications sans actes	77
3.9	Conférences invitées	77
3.10	Rapports	78
3.11	Thèse	79
 CONCLUSION DU MÉMOIRE D'HABILITATION À DIRIGER DES RE-		
CHERCHES		81
1	Bilan des recherches	83
2	Perspectives de recherches	85

ANNEXES	89
Bibliographie	91
Liste des figures	107
Liste des tableaux	109
Liste des acronymes	111

INTRODUCTION

*"Ciel, que lui vais-je dire
et par où commencer ? "*
Racine, *Phèdre (Acte I Scène 3)*

Parcours

Bien que travaillant depuis près de vingt-cinq ans dans un laboratoire de recherche, mon parcours n'est pas linéaire. Après une moitié de carrière en tant qu'ingénieur d'étude au Cemagref sur des projets d'automatique et vision artificielle, j'ai choisi de m'investir dans une démarche de formation par la recherche qui m'a conduit à soutenir en 2007 un doctorat en informatique sur la QoS¹ dans les réseaux sans fil. Ces premières recherches, débutées en 2004, étaient novatrices dans le secteur agricole et à l'époque beaucoup de mes interlocuteurs du domaine de l'agriculture pensaient que l'idée d'avoir des capteurs communicants dans toutes les parcelles était un pur exercice de style d'informaticiens. Dix ans plus tard, nous sommes dans le monde des objets connectés et ne plus instrumenter une parcelle pour prendre les bonnes décisions sera bientôt l'exception.

Depuis mon doctorat, j'ai œuvré pour promouvoir les technologies sans fil telles que les WSN² et plus largement les TIC³ dans le monde agricole tant au niveau de la communauté nationale (présidence de l'Association Francophone d'Informatique Agricole) qu'au travers d'actions internationales (participation aux projets ERANET ICT-AGRI 1 et 2). En effet, il me semble important de mener des recherches ayant un impact sur la société en lien avec les acteurs socio-économiques. Les TIC ont un rôle majeur à jouer dans la mutation de l'agriculture.

L'agriculture étant de forme multiple et très contextualisée, mes travaux de recherche ont tout naturellement portés sur les façons de représenter le contexte dans des applications mettant en œuvre des WSN pour la collecte de données et plus largement sur la représentation du contexte au sein d'application mobilisant l'informatique au service de l'agriculture. Les sept thèses co-encadrées depuis mon doctorat ont donc toutes eu comme dénominateur commun les modes de représentation du contexte pour optimiser le fonctionnement des WSN ou pour modéliser un domaine applicatif agricole.

La recherche étant une aventure collective, mon souhait a également été de m'engager au service de mon institut en assurant la responsabilité d'une équipe de recherche de 2007 à 2014 et depuis 2014 en étant directeur de l'unité "Technologies et Systèmes d'Information pour les Agrosystèmes" d'Irstea. L'objectif de notre unité de recherche est de mettre les sciences pour l'ingénieur au service d'une agriculture plus responsable sur les plans environnemental et social tout en restant compétitive économiquement. Les travaux que

1. Quality of Service
2. Wireless Sensor Network
3. Technologies de l'Information et de la Communication

j'ai menés et qui sont présentés dans ce mémoire ont pour ambition de contribuer à l'évolution de l'agriculture.

Thématique de recherche

Comme l'illustre le rapport établi à la demande des ministres de la recherche et de l'agriculture, l'agriculture moderne est de plus en plus technologique [Bournigal 15]. Elle voit apparaître une utilisation massive de données collectées sur les parcelles afin d'alimenter des modèles d'aide à la décision permettant des interventions adaptées aux besoins réels des cultures. Les capteurs sans fil permettent de recueillir ces données au plus près des plantes.

Mes travaux effectués au cours de ces dernières années ont principalement porté sur la mise en œuvre des réseaux de capteurs sans fil dans le cadre de l'agriculture. Mes recherches se sont plus particulièrement focalisées sur les moyens de garantir un fonctionnement des WSN le plus fiable possible et avec une durée de vie la plus longue possible. Le choix a été fait de travailler sur la prise en compte du contexte de fonctionnement des capteurs dans les différents éléments intervenant dans la bonne marche d'un WSN : protocole de routage, format et nature des messages échangés entre nœuds du réseau... Le principal objectif de ces travaux est d'optimiser les messages échangés afin de limiter la consommation énergétique des éléments du réseau.

Les approches contextuelles sont avec l'avènement des TIC de plus en plus utilisées. Elles permettent d'adapter le comportement des objets en fonction de leur usage, de leur situation, de leur état... Pour les WSN au service de l'agriculture, nous avons exploré plusieurs voies pour représenter le contexte allant de simples métadonnées à des modèles plus formels comme les ontologies.

En agriculture, les observations humaines constituent également une source de données importante et il convient aussi de les contextualiser afin de comprendre et pourvoir généraliser les résultats obtenus sur un système de culture particulier [Haider 13]. Nous avons donc exploré les moyens de modéliser le contexte dans le cadre de la manipulation de connaissances par des personnes ou par des systèmes d'aide à la décision.

Toutes ces recherches, faisant l'objet de ce mémoire d'habilitation, se sont appuyées sur différentes thèses co-dirigées et sur plusieurs projets de recherche. La Figure 1 présente une vision d'ensemble de mes travaux dans laquelle se situent les thèses et les projets les plus emblématiques. Les travaux s'articulent autour de deux axes principaux dont le fil conducteur est l'expression du contexte :

- des approches contextuelles pour les réseaux de capteurs,
- la mise en œuvre d'information contextuelle pour l'agriculture.

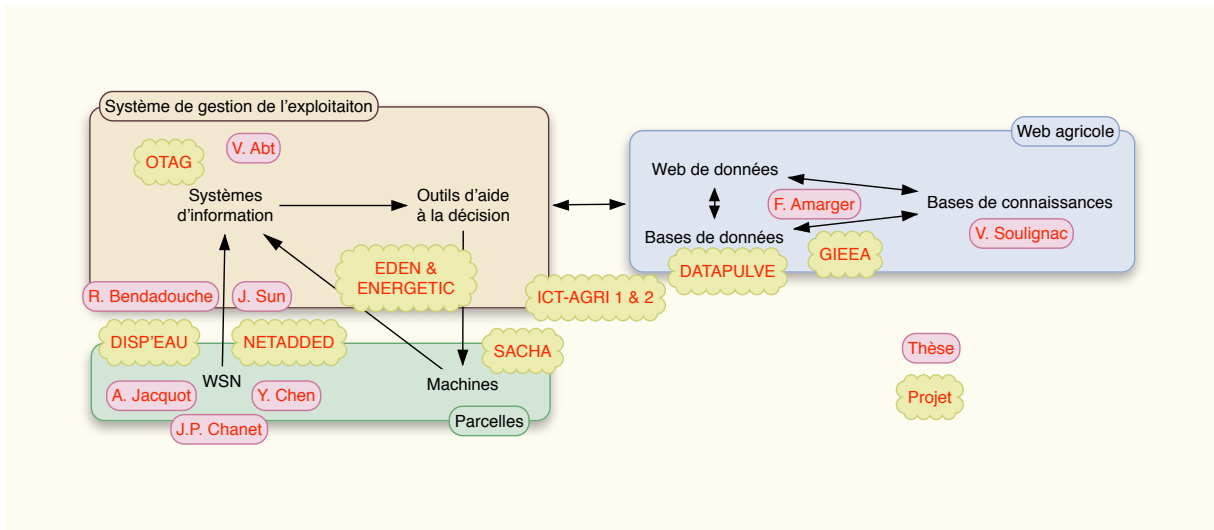


Figure 1 – Vue d'ensemble du projet de recherche

Inévitablement, la quantité d'informations à manipuler devient de plus en plus importante; nous sommes entrés dans l'ère du Big data et l'agriculture n'échappe pas à cette tendance [Aulbur 15]. Donner du sens à toutes ces informations devient une priorité qui passe notamment par l'utilisation d'approches sémantiques permises par les ontologies. Sous-jacent à tous nos travaux, il y a donc cette dimension sémantique qui doit être indissociable des objets connectés afin d'entrer pleinement dans l'ère de l'Internet des Objets (IoT⁴) [Seydoux 15].

Plan du mémoire

Le mémoire s'articule en deux parties : la première consacrée à mon projet de recherche et la seconde au bilan de mes activités. Le projet de recherche est découpé en trois chapitres présentant l'apport des capteurs et des réseaux de capteurs (WSN) à l'agriculture (boite "Parcelles" de la Figure 1), la notion de contexte et sa mise en œuvre pour l'optimisation du fonctionnement des WSN (lien entre les boites "Parcelles" et "Système de gestion de l'exploitation" de la Figure 1) et enfin le rôle du contexte dans les nouvelles applications aux services de l'agriculture et notamment celles basées sur les notions de sémantique (boite "Web agricole" de la Figure 1).

PROJET DE RECHERCHE

Chapitre 1

Les capteurs et l'agriculture

"L'important, c'est de savoir ce qu'il faut observer."

Edgar Allan Poe, *Histoires Extraordinaires*

— Thèses co-encadrées en lien avec ce chapitre —

Vincent Abt - Une approche méthodologique et de modélisation des exploitations agricoles dans une perspective d'ingénierie d'entreprise et de système d'information - Université Paris Dauphine - Gestion & Productique - 2010

Aurélien Jacquot - Supervision de réseaux d'Objets Intelligents Communicants sans fil - Université Blaise Pascal - Informatique - 2010

Vincent Soullignac - Système informatique de capitalisation de connaissances et d'innovation pour la conception et le pilotage de systèmes de culture durables - Université Blaise Pascal - Informatique - 2012

1.1 Une agriculture en pleine évolution

L'agriculture a toujours été très diverse et l'on ne peut pas la considérer de manière unique. L'agriculture raisonnée, l'agriculture durable, l'agroécologie, l'agriculture biologique, etc. sont basées sur des concepts et des visions très différentes des techniques, du rapport à l'environnement et de la prise en compte de la dimension sociale de l'activité. En revanche, même si leur approche des TIC est très différente, toutes ces formes d'agriculture ont potentiellement besoin de ces technologies, notamment par la mise en œuvre de capteurs, pour améliorer leurs pratiques en mobilisant les données pour des décisions adaptées au contexte de l'exploitation.

Historiquement, c'est l'agriculture de précision à l'échelle de la parcelle et par extension l'agriculture raisonnée à l'échelle de l'exploitation qui utilise le plus les TIC [Zwaenepoel 97]. Les principes de l'agriculture de précision remontent aux années 20, mais son développement réellement effectif a été dans les années 90 avec l'avènement des systèmes de localisation [Franzen 15]. L'objectif de ces types d'agriculture est d'optimiser les pratiques agronomiques avec une approche très processus comme dans l'industrie en mobilisant tous les leviers technologiques disponibles. Leur développement est consubstantiel à celui des TIC [Tisseyre 12] : capteurs ou réseaux de capteurs sans fil mesurant des paramètres agronomiques, capteurs de géolocalisation, drones, systèmes d'information permettant le stockage des données. La démocratisation des systèmes de localisation de type GPS⁵ et le déploiement des solutions de type bus CAN⁶ sur les engins a permis un essor lent, mais important, de l'agriculture raisonnée dans le monde [Auernhammer 01, Chanet 03].

Le principe de l'agriculture de précision est de mobiliser des capteurs afin de caractériser le plus finement possible les cultures et leur environnement (e.g., sol, météo) à une échelle intra parcellaire et au fil du temps afin d'optimiser les interventions des machines. Par exemple, on utilise des images satellites afin de connaître les besoins en azote de la culture et avec la carte ainsi produite on peut ensuite piloter l'épandeur d'engrais de manière à apporter comme le dit le slogan «la bonne dose, au bon endroit et au bon moment» [Grenier 12] (voir la Figure 1.1). L'objectif premier de ce type d'agriculture est d'optimiser le rendement tout en réduisant les coûts liés aux intrants. Cette agriculture est pleinement en phase avec les évolutions technologiques et les adopte en premier : GPS, réseaux de capteurs sans fil, drones. Historiquement, étant basée sur de l'investissement parfois lourd, elle s'est développée dans les exploitations dégagant de bons revenus, grandes cultures, viticulture, mais peu à peu elle envahit l'ensemble des types de production, comme l'élevage par exemple [Hostiou 14].

5. Global Positioning System

6. Controller Area Network

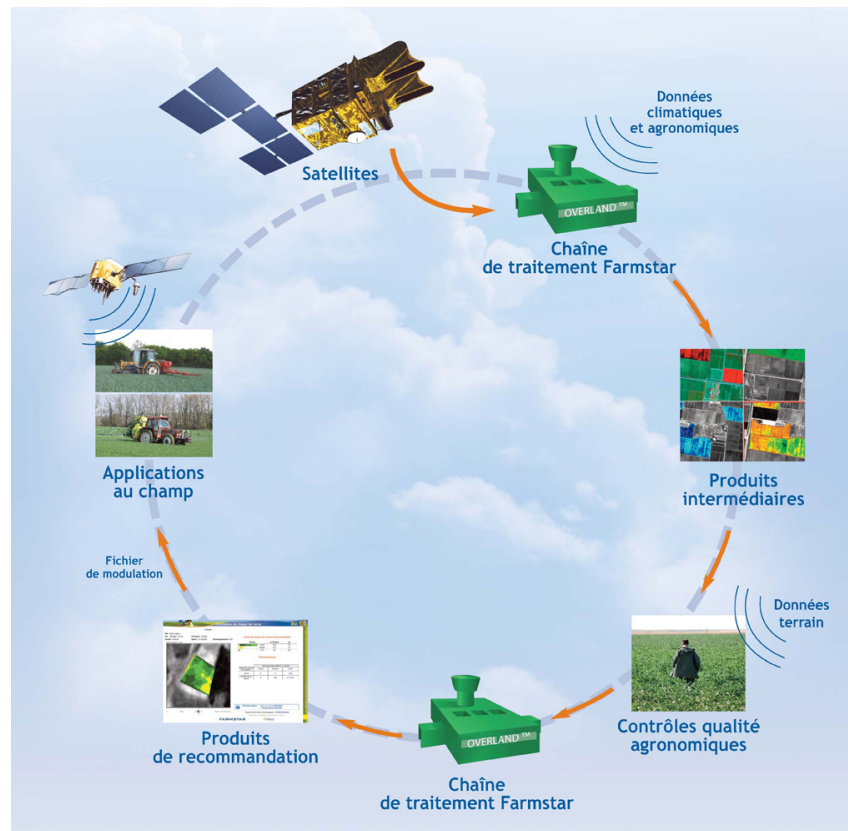


Figure 1.1 – Exemple de boucle de contrôle en agriculture de précision [Farmstar 14]

Depuis plusieurs années, d'autres formes d'agriculture sont devenues de plus en plus d'actualité face à l'évolution des réglementations et surtout face à la demande des consommateurs et citoyens d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement. Par exemple, la pression sur l'usage des pesticides est une illustration de cette évolution. On parle donc de plus en plus de l'agriculture durable bien que les principes soient anciens [Féret 01, Landais 98]. L'agriculture durable prend en compte l'exploitation dans toutes ses dimensions : agronomique, économique, environnementale et sociétale. Elle ne cherche pas uniquement à optimiser le rendement ou l'aspect économique, mais considère toutes les dimensions du système. On ne travaille plus uniquement à l'échelle de la parcelle comme dans le cas de l'agriculture de précision. Dans ce type d'agriculture, les capteurs sont plus au service de la traçabilité et de l'enregistrement des pratiques [Abt 07]. Les principes de l'agriculture de précision de suivi des pratiques ne sont pas incompatibles avec ce type d'agriculture, ils doivent juste être élargis afin de mesurer également les conséquences des pratiques [Chevrier 13].

Le Grenelle de l'environnement, fin 2007, a lancé le plan Ecophyto. L'objectif est de réduire de manière drastique l'usage des pesticides en agriculture (-50%). Cette diminution massive de l'usage des pesticides passe par la mise en œuvre et la généralisation de

différentes formes d'agriculture [Butault 10] : agriculture dite raisonnée, protection intégrée, agriculture biologique. Les observations des cultures, en vue de décision, sont au coeur de toutes ces formes d'agriculture. Le rôle des capteurs est donc important dans le cadre de ce plan [Han 13, Jones 09, Sankaran 10]. En 2015, le Ministère de l'Agriculture a lancé la seconde phase du plan Ecophyto et la place des technologies, notamment les TIC, y est renforcée.

Au coeur de la politique agricole préconisée par le Ministère, on trouve également l'agroécologie [Tassin 11]. L'agroécologie a pour objectif de concevoir des systèmes de culture de manière globale, à l'échelle de l'exploitation, voire plus large : c'est une approche systémique prenant en compte les interactions au sein des écosystèmes. Dans cette forme d'agriculture, il faut comprendre les relations entre plantes et agresseurs afin de mettre en place des stratégies de lutte alternatives aux produits phytosanitaires. Cette reconception des systèmes de culture intègre la durabilité des systèmes (économique, environnementale et sociétale) et utilise la biodiversité comme un levier d'action. Les TIC peuvent être mobilisée à des fins d'observation afin d'agir à bon escient sur les cultures. Le rôle des capteurs est donc également important dans ce type d'agriculture.

On constate que l'agriculture moderne est multiple et est en pleine mutation. Le point commun à toutes ces formes d'agriculture est le recours de plus en plus massif aux technologies et notamment aux capteurs. On parle maintenant d'e-agriculture. L'internet des objets et le Big data font prendre une nouvelle dimension à cette notion d'e-agriculture. Jusqu'alors, le vocable d'e-agriculture était principalement employé pour l'utilisation des TIC dans la transmission des savoirs [Mangstl 08]. Mais désormais, on rassemble sous ce vocable l'agriculture faisant appel massivement aux technologies et aux données issues de capteurs. Les agriculteurs sont prêts pour cette révolution numérique : 9 agriculteurs sur 10 font leur déclaration administrative en ligne, plus de 400 applications mobiles existent pour les éleveurs [Isaac 15]. Les services sont disponibles et pour les rendre pleinement efficaces, il faut développer l'acquisition de données de manière conséquente.

L'agriculture moderne a donc un besoin croissant de données et nous allons détailler ces données et les moyens de les obtenir dans la section suivante.

1.2 Des besoins de données croissants

1.2.1 Pour quels objectifs ?

L'observation est une dimension importante du processus de décision en agriculture [Zaks 11] : il convient de connaître parfaitement l'état des sols, des cultures, des animaux afin d'optimiser la gestion des exploitations agricoles. Il est donc important de disposer de mesures objectives fréquentes permettant de calculer les états du système : les capteurs apportent une réponse à ce besoin. Les mesures ainsi réalisées permettent de mettre en

œuvre des alertes en temps réel sur des phénomènes importants pour les cultures (e.g., humidité du sol, météo, pannes...) [Kitchen 08].

On a vu apparaître depuis quelques années de nombreux capteurs nouveaux permettant de mieux qualifier et quantifier les besoins des sols, des plantes, des animaux [Adamchuk 04]. De plus, les technologies de déploiement de capteurs permettent également la surveillance de large territoire : observations satellitaires [Houston 84], imagerie aérienne [Malveaux 14], réseaux de capteurs sans fil [Wang 06]. Ces moyens actuels de collecte massive de données permettent donc d'objectiver les décisions et de construire de nouveaux modèles d'aide à la décision.

Au-delà de pouvoir alimenter les modèles d'aide à la décision, les mesures réalisées tout au long du processus cultural permettent d'avoir une traçabilité fine des interventions faites dans les exploitations agricoles [Ko 14]. Cela permet de répondre de manière transparente aux exigences réglementaires, mais aussi de capitaliser les connaissances sur le travail.

En outre, des mesures régulières concernant les différentes pratiques permettent de mieux gérer les stocks, de faciliter et optimiser la maintenance des équipements.

1.2.2 Pour quels types de mesures ?

Nous sommes donc maintenant entrés dans l'ère de l'e-agriculture : la récolte de données est devenue une problématique à part entière de l'agriculture moderne. Afin de répondre notamment aux enjeux de production, de préservation de l'environnement, toute décision prise par un agriculteur peut reposer sur des mesures objectives de l'état de son exploitation, de ses cultures, de la météo, des cours des matières premières...

Les mesures réalisées sur une exploitation sont diverses [Stone 15]. Elles sont toutes de nature spatio-temporelle : chacune se doit d'être géoréférencée et datée afin de prendre sens dans le processus de décision de l'agriculteur. Elles sont également d'origine très diverse : issues d'observations humaines sur les parcelles, issues de capteurs fixes sur les parcelles ou dans les bâtiments, issues de capteurs embarqués sur des vecteurs terrestres ou aériens. Leur format et leur volume sont également multiples : données scalaires, images, documents, vidéos, modèles...

Toutes ces sources de données sont complémentaires et permettent d'avoir une information diversifiée multiéchelle : à l'échelle de la plante ou de l'animal, à l'échelle de la parcelle ou du bâtiment, à l'échelle de l'exploitation voire plus large encore (commune, bassin versant, région agricole). Cette diversité permet maintenant d'avoir une vision temporelle très fine de l'évolution des cultures ou des animaux.

Avec le développement exponentiel des capteurs et des objets connectés on voit se multiplier depuis quelques années le nombre d'exploitations instrumentées (la moitié des

exploitations sont équipées de GPS). Les parcelles, les animaux et les bâtiments sont maintenant largement équipés. La collecte de toutes ces sources de données devient donc un problème à part entière et les réseaux de capteurs sans fil (WSN) sont une solution permettant d'automatiser la centralisation de ces mesures au niveau de la ferme [Chaudhary 11, Ruiz-Garcia 09]. Ils permettent de prendre en compte les capteurs fixes et les capteurs mobiles grâce à leur capacité d'avoir une topologie dynamique via leur protocole de routage.

Nous avons donc choisi de considérer la problématique de ce type de réseaux de capteurs appliquée au contexte agricole. Cela pose un certain nombre de challenges à cette technologie qu'il convient de relever : déploiement en extérieur sur de grandes superficies, conditions d'ambiance difficiles, ressources énergétiques limitées, coût réduit...

1.3 Les réseaux de capteurs sans fil en agriculture

Depuis une dizaine d'années, il y a eu de nombreux progrès technologiques dans le domaine des WSN : l'augmentation constante de la capacité de traitement, l'apparition de plates-formes de réseau de capteurs sans fil matures sur le plan matériel et logiciel, et l'adoption massive des smartphones. Toutes ces innovations offrent une large palette de nouvelles solutions qui peuvent répondre aux besoins de l'agriculture et offrir des alternatives plus pratiques aux solutions existantes [Chanet 11]. Actuellement, plusieurs plates-formes de réseaux de capteurs existent telles que les Mica2, iLive 2 ou Waspnote, mais [Rehman 14], dans leur état de l'art des solutions existantes, concluent à l'absence de solution répondant à l'ensemble des problèmes et à la nécessité de développer des solutions intégratives depuis l'acquisition des données jusqu'à la prise de décision.

Au cours des dernières années, les technologies sans fil ont été introduites dans l'agriculture [Wang 06]. Les secteurs à forte valeur ajoutée ont été pionniers : les cultures sous serre, l'horticulture, la viticulture. Ces cultures présentent des caractéristiques qui favorisent le déploiement de capteurs sans fil : faible distance en intérieur pour les serres, petites parcelles de culture pérenne avec de l'infrastructure fixe pour les vignes. Les mesures faites sont principalement l'humidité du sol [Cardell-Oliver 05, Valente 07] afin d'optimiser l'irrigation des cultures [Chanet 06]. Les capteurs sans fil sont aussi largement utilisés comme stations météorologiques évoluées, pour mesurer de nombreux paramètres (température, humidité, rayonnement, etc.) nécessaires à la gestion des cultures [Fukatsu 05]. Les WSN sont également inclus dans des boucles de contrôle et sont utilisés comme actionneurs dans des applications telles que l'irrigation [Sikka 06]. Au-delà des déploiements sur parcelle, les WSN sont aussi utilisés pour la gestion des animaux [Bishop-Hurley 07, Nadimi 08], la gestion des stocks de matières premières [Green 09], et ils devraient jouer un rôle important dans le déploiement de la robotique agricole [Cartade 12, Noguchi 04].

Les principaux défis pour les WSN dans l'agriculture portent sur la propagation des signaux radio dans un environnement changeant au cours de la saison [Larsen 11,

Vougioukas 13], la récolte et la gestion de l'énergie [Morais 08] et la fiabilité des équipements [Mahapatroa 12]. Enfin, [Panchard 08] a décrit les difficultés dans le déploiement de véritables plates-formes en agriculture et les difficultés pour l'adoption des WSN par les agriculteurs, principalement dues à l'incertitude du rapport bénéfice/coût de la technologie.

Le premier élément à prendre en compte dans le déploiement d'un réseau de capteurs sans fil est l'architecture du système de réseau [Mampentzidou 12]. Cela inclut (i) le matériel et le système d'exploitation à utiliser ; (ii) le lieu et la topologie que le réseau aura (nœud clairsemé, réseau aléatoire, réseau en cluster, réseau de grille, etc.) ; (iii) la gestion de l'alimentation des différents types de nœuds (batteries, panneaux solaires) ; (iv) les protocoles de communication impliqués dans le transfert des données, y compris les mécanismes permettant les économies d'énergie ; (v) les exigences propres à l'application (dans le cas de l'agriculture, par exemple, le cycle de vie de la culture au cours de la saison).

La technologie retenue définit les caractéristiques du réseau telles que le débit de données, la portée des communications. En outre, elle définit les capacités de mémoire, de calcul, de bande passante et la consommation énergétique des nœuds. Le placement et la densité des nœuds ont aussi des répercussions sur la performance du système. Il y a un compromis clair entre le positionnement des nœuds pour avoir la bonne information et la densité de nœuds pour avoir un réseau fiable [Konstantinos 07].

Du point de vue de la couche physique, le déploiement d'un réseau de capteurs sans fil dans des environnements difficiles est un challenge : [Dapper 03] ont discuté de l'influence que le feuillage a sur la propagation des signaux radio ; [Vougioukas 13] ont proposé une modélisation de l'atténuation liée à la végétation ; [Le Vine 96] ont analysé l'impact de la croissance du maïs et du soja dans les pertes de transmission et [Thelen 05] ont étudié la propagation des ondes radio dans des champs de pommes de terre. [Huebner 13] ont proposé pour le suivi environnemental et les applications agricoles, l'utilisation de liaisons radio VHF⁷ et UHF⁸ pour construire un capteur sans fil longue portée de faible consommation d'énergie, mais à des débits faibles. De même, les nouvelles technologies de communication longue portée type SigFox et LoRa font leur apparition dans le monde agricole [Stoces 16]. Des sociétés comme ISAGRI ou Weenat les mettent en œuvre pour des stations météo ou des capteurs aux champs.

Les applications potentielles des technologies sans fil en agriculture couvrent un large éventail de scénarios et d'applications. Nous pouvons les classer en cinq grandes catégories présentant chacune leurs propres spécificités :

- *Les réseaux pour la collecte de données scalaires* (température, humidité) : les capteurs permettent l'acquisition de données élémentaires pour l'aide à la décision ou le pilotage d'actionneurs (irrigation, pilotage de bâtiments, météo) ;

7. Very High Frequency

8. Ultra High Frequency

- *Les réseaux pour la collecte de données multimédia* (images, vidéo) : en agriculture ces réseaux peuvent être mis en œuvre pour la détection de maladie ou de ravageur et la surveillance troupeaux ;
- *Les réseaux avec des nœuds mobiles ou avec une connectivité discontinue* : ces réseaux regroupent les applications utilisant un véhicule (drone, tracteur) pour la collecte de données ou les WSN nécessitant d'éteindre les nœuds pour augmenter la durée de vie du réseau ;
- *Les systèmes basés sur les puces RFID*⁹ : au-delà de leur utilisation pour l'identification et la traçabilité, les technologies RFID permettent aussi de faire de la collecte de données ;
- *Les applications basées sur la connexion à un smartphone* : la généralisation des smartphones a permis le déploiement de nombreux objets connectés pouvant offrir des réponses aux besoins de l'agriculture.

1.3.1 Les typologies des applications sans fil en agriculture et leurs contraintes

Les réseaux pour la collecte de données scalaires

Plusieurs technologies sans fil sont disponibles pour les applications agricoles mobilisant des données de type scalaire [Kabashi 08]. Ce sont les WSN les plus classiques. La première utilisation de ce type de réseau est le recueil de données météorologiques. Des WSN de type étoile regroupent un ensemble de capteurs autour d'une station de base disposant d'une liaison radio longue portée (e.g., GSM) [Popa 11]. Les WSN scalaires sont également mis en œuvre pour le pilotage de l'irrigation : des tensiomètres sont déployés sur les parcelles afin d'évaluer les besoins en eau des cultures et déclencher l'irrigation pour répondre au mieux aux besoins des plantes et économiser l'eau [Chanet 06, Vellidis 08, Xiong 09]. La surveillance des animaux est également un domaine où la collecte de données scalaires est importante pour comprendre les habitudes des animaux [Handcock 09] ou suivre leurs conditions d'élevage et leur état sanitaire [Ma 11].

Les nœuds utilisés dans ce type de réseaux ont souvent des réserves d'énergie limitées et la question de l'épuisement de l'énergie de nœud est un défi à relever : [Morais 08] ont analysé le rayonnement solaire, le vent et l'écoulement d'eau comme des sources d'énergie possibles pouvant être explorées pour répondre aux besoins énergétiques d'un réseau de capteurs sans fil.

Les principales contraintes de ce type de WSN sont la densité des nœuds du réseau (plutôt faible), la qualité des liens radio et la propagation des ondes radio en milieu extérieur changeant au fil du temps, la consommation d'énergie des nœuds, la faible puissance calcul, etc. (voir la Figure 1.2).

9. Radio Frequency IDentification

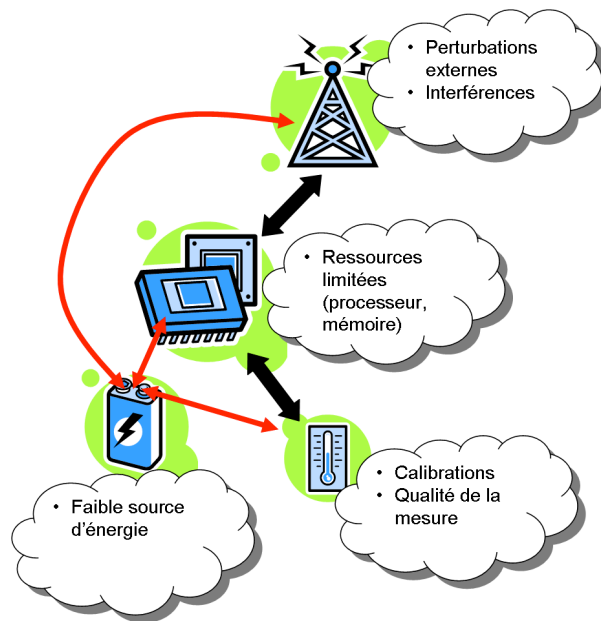


Figure 1.2 – Contraintes d’un nœud de WSN [Jacquot 10]

Les réseaux pour la collecte de données multimédia

Les données multimédias, notamment les images (aérienne, satellite), sont largement utilisées en agriculture pour le suivi des cultures, la détection des maladies, la surveillance vidéos des troupeaux et ce depuis de nombreuses années. En revanche, leur utilisation au sein des WSN est récente et reste un challenge [Akyildiz 07]. Cela est devenu maintenant envisageable, car les capacités de mémoire et de calcul des nœuds des réseaux sont de plus en plus importantes.

[Tavli 12] a étudié les architectures matérielles de capteurs sans fil développées dans le but d’intégrer les données multimédias, tandis que [Almalkawi 10] a listé les défis pour concevoir des protocoles et des piles de protocoles permettant d’acheminer des données multimédias au sein de WSN. La recherche et l’applicabilité des algorithmes de vision par ordinateur pour les capteurs sans fil en sont encore à leurs balbutiements. Les principaux défis à relever sont : (i) De quelle façon traiter les images ou les trames vidéo sur les nœuds afin de détecter, surveiller ou suivre des objets avec un minimum de coût énergétique, compte tenu des ressources limitées de calcul et de mémoire d’un capteur sans fil ; (ii) Comment compresser les images ou les trames vidéo avec de faibles ressources, sachant que la bande passante actuelle dans les capteurs est inférieure à 1 Mb/s. Il y a un compromis clair entre la consommation de la batterie nécessaire pour effectuer ces tâches sur le nœud à faible régime de processeur et la consommation de la batterie lors de la transmission de gros volumes de données : doit-on traiter en local ou transmettre les données brutes [Akyildiz 07, Almalkawi 10, Cesana 12] ?

On trouve malgré ces fortes contraintes quelques exemples de mise en œuvre de WSN multimédia en agriculture [Wang 14]. Par exemple, [Wark 07] a présenté Fleck-1, une plate-forme de capteurs qui comprend une caméra pour détecter l'état de champs de pâturage. [Garcia-Sanchez 11] a intégré un réseau de capteurs scalaires (salinité, température, pH et humidité du sol) avec un nœud de capteurs sans fil de vidéo surveillance d'une culture du brocoli. [Dang 13] propose un nœud multimédia à même de faire des traitements embarqués élémentaires pour détecter des maladies sur des fraisiers. Enfin, [Zhang 12] ont présenté un schéma de compression d'image de faible complexité pour un WSN multimédia dans le cadre d'une application de surveillance des cultures. On trouve également des applications utilisant le son pour identifier des insectes dans des pièges connectés (CapTrap de la société Cap2020 [Cap2020 15]).

Ce type de WSN multimédia est amené à se développer grâce à l'évolution rapide des performances des nœuds tant sur le plan de la puissance de calcul que de la consommation énergétique.

Les réseaux avec des nœuds mobiles ou avec une connectivité discontinue

Ces types de WSN sont des réseaux isolés de toute infrastructure et ne sont donc pas reliés à Internet de manière permanente. Cette situation est fréquente en agriculture, car les parcelles sont parfois éloignées de l'exploitation agricole et les couvertures radio des opérateurs de téléphonie ou de réseau M2M¹⁰ présentent des zones blanches. Dans le contexte agricole, il est possible de connecter ces réseaux de manière discontinue en utilisant les différents véhicules intervenant sur les parcelles (tracteurs, drones) [Valente 11, Zhou 14]. Dans ce type de réseaux, il est normal que les liens sans fil aient une connectivité intermittente et que les nœuds puissent rester déconnectés pendant de longues périodes de temps (plusieurs heures). Comme il est rappelé dans [Farrell 06], le protocole TCP/IP¹¹ ne fonctionne pas bien dans ce type d'environnement à connectivité discontinue et l'utilisation d'architectures alternatives est souvent nécessaire.

Un exemple important d'architecture alternative est l'architecture, proposée comme une solution générale pour les réseaux déconnectés [Fall 03]. Le standard RFC¹² 4838 [Cerf 07] définit les fonctionnalités de base pour l'interconnexion des DTN¹³. Des exemples de protocoles de transport pour DTN sont le "Protocol Licklider Transmission", RFC 5325 de l'IETF¹⁴ [Burleigh 08], ou de Saratoga, [Wood 07]. Des travaux ont montré la pertinence de ce type d'architecture et de protocole pour les applications agricoles, comme celle de la collecte de données via un tracteur [Ochiai 11].

10. Machine to Machine

11. Transmission Control Protocol/Internet Protocol

12. Requests For Comments

13. Delay Tolerant Networking

14. Internet Engineering Task Force

Les systèmes basés sur les puces Radio Frequency IDentification

La technologie RFID est basée sur une transmission sans fil qui utilise la radiofréquence des champs électromagnétiques pour transférer des données à partir d'une étiquette fixée à un objet, et ayant une portée radio inférieure à dix mètres. Il existe actuellement des dispositifs RFID [Ruiz-Garcia 11] capables de mesurer la température, l'humidité, les vibrations, la concentration de gaz, etc. qui peuvent convenir à un large éventail d'applications agricoles telles que le pilotage des serres, l'irrigation de précision, le contrôle de la chaîne alimentaire, la viticulture, ou l'identification électronique du bétail. On peut notamment citer comme exemple dans le cadre de la traçabilité, l'appariement des bacs de collecte avec les arbres correspondant pendant la récolte [Ampatzidis 09], la construction de réseaux de capteurs intelligents pour les mesures d'humidité du sol [Vellidis 08] ou l'identification sécurisée des fleurs en pot en horticulture [Barge 10].

Ces technologies sont majoritairement destinées à l'identification des biens et produits pour la traçabilité, la collecte de données vient souvent se greffer sur la fonction première [Voulodimos 10]. On ne peut pas vraiment parler de WSN vu les faibles portées et l'absence de routage, mais elles peuvent permettre l'acquisition de données à très faible coût dans des contextes très spécifiques.

Les applications basées sur la connexion à un smartphone

Les smartphones se sont généralisés très rapidement et sont devenus le cœur de WPAN¹⁵ permettant de dialoguer avec des objets communicants de plus en plus nombreux. Ces équipements vont devenir la principale passerelle des agriculteurs pour accéder à leur système de gestion, FMIS¹⁶, mais également à leurs capteurs, à leurs équipements tout en ayant une connectivité à Internet [Dhar 14]. Grâce à son smartphone, l'agriculteur peut interagir avec les WSN déployés sur son exploitation [Peres 11, Xiong 13].

Les smartphones sont également des outils importants pour la prise de décision en agriculture sur la base des données recueillies : l'agriculteur dispose d'un outil sans fil géoréférencé toujours connecté pour l'aide à la décision [Arroqui 12, Hwang 11a]. Ces terminaux permettent également l'enregistrement des pratiques dans l'espace et le temps pour de nombreuses applications [Boiteau 16]. Au-delà d'être des terminaux connectés, les smartphones sont également des capteurs connectés (GPS, photo, accéléromètre, etc.) et permettent ainsi aux utilisateurs de localiser des points de mesure et de transmettre les données au FMIS [Guizard 12, Molina-Martínez 09, Molina-Martínez 11]. On peut également envisager des applications de type crowdsourcing pour la détection des maladies par des communautés d'agriculteurs [Rahman 15].

15. Wireless Personal Area Network

16. Farm Management Information System

1.3.2 Le positionnement des recherches

Comme on vient de le voir, les possibilités qu'offrent les WSN et les objets connectés pour l'agriculture sont très nombreuses et nous ne sommes qu'au début de leur mise en œuvre. Le déploiement de telles solutions est soumis à différentes contraintes que nous avons présentées : limitation des moyens de calcul, quantité d'énergie limitée, lien radio de faible portée...

Les recherches que j'ai entreprises et menées au cours de ces dernières années portent essentiellement sur la réduction de la consommation énergétique des nœuds en limitant le nombre de messages échangés au sein du réseau. Pour limiter les volumes de données transmises, l'idée qui a été retenue est de prendre en compte le contexte d'utilisation du réseau. Le fonctionnement des nœuds est donc dépendant de l'environnement dans lequel ils évoluent, mais également dépendant des tâches qu'ils ont à accomplir. Le chapitre suivant présente les différentes propositions d'approche contextuelle explorées dans le cadre de mes travaux de recherche.

Chapitre 2

Une approche contextuelle pour les réseaux de capteurs sans fil

"Les symboles n'ont pas une signification intrinsèque et invariable; ils ne sont pas autonomes vis-à-vis du contexte. Leur signification est d'abord de position."

Claude Lévi-Strauss, *Mythologiques - Le Cru et le Cuit*

— Thèses co-encadrées en lien avec ce chapitre —

Rimel Bendadouche - Intégration de données agri-environnementales provenant d'un réseau de capteurs sans fil - Informatique - Arrêt en 2014

Yibo Chen - Routing algorithm dedicated to environmental data collection : Precision Agriculture - Université Blaise Pascal - Informatique - 2015

Aurélien Jacquot - Supervision de réseaux d'Objets Intelligents Communicants sans fil - Université Blaise Pascal - Informatique - 2010

Jie Sun - L'Internet des Objets au service de l'environnement - Université Blaise Pascal - Informatique - soutenance prévue en 2017

2.1 Les approches contextuelles

La question de l'énergie et de la durée de vie des WSN est une question importante. Nous avons choisi de traiter ce problème en développant des solutions permettant aux capteurs d'adapter leur comportement à leur contexte. Il existe différents moyens d'intégrer le contexte pour optimiser le fonctionnement des réseaux et satisfaire au mieux les besoins des utilisateurs. Nous allons donc tout d'abord présenter les différentes solutions envisageables.

2.1.1 Principe, définition, modalité de mise en œuvre

On retrouve de nombreuses définitions de la notion de contexte dans la littérature. Dans leur état de l'art qui fait référence [Perera 14], recensent pas moins de seize définitions. Ils proposent de retenir celle de [Abowd 99] :

"Context is any information that can be used to characterise the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves."

Cette définition est relativement générale et ne s'applique pas uniquement au cas des WSN. On peut essayer de la transposer au cas des mesures faites par un nœud de WSN. C'est ce que propose [Sanchez 06] en formulant deux nouvelles définitions :

***Raw (sensor) data** - Is unprocessed and retrieved directly from the data source, such as sensors.*

***Context information** - Is generated by processing raw sensor data. Further, it is checked for consistency and meta data is added."*

Ces définitions posent donc l'information contextuelle comme étant calculée à partir de données brutes. Dans le cas des WSN, les données brutes sont issues des acquisitions réalisées par les capteurs.

[Perera 14] proposent également une classification des moyens de modéliser le contexte et des différentes techniques mises en œuvre pour cela. Ils proposent une classification par ordre de complexité des approches de modélisation :

- utilisation de valeurs-clés [Ballari 12],
- utilisation de langage à balise type XML¹⁷ [McCann 09],
- utilisation de bases de données [Amato 07],
- utilisation de représentation à base d'objets [Shamszaman 14],
- utilisation de logiques de description [Cherrier 11],
- utilisation d'ontologies [Korpipaa 03].

17. eXtensible Markup Language

L'expressivité des méthodes croît avec leur complexité. On peut également en combiner différentes entre-elles : exprimer un contexte avec des valeurs-clés et faire un raisonnement sur ces valeurs à base de logique de description afin d'avoir une expression d'un contexte de plus haut niveau [Ballari 09].

La méthode la plus simple est de calculer des valeurs-clés représentant un état à un moment. Cette méthode de représentation à l'avantage d'être simple, facile à calculer et ne nécessitant donc que peu de ressource ; elle est donc particulièrement bien adaptée aux réseaux de capteurs. En revanche, il est difficile de décrire des relations entre valeurs-clés, la représentation du contexte est dépendante de l'application et on ne peut pas représenter des contextes complexes. Il faut malgré tout veiller à une standardisation la plus forte possible et les valeurs-clés doivent dans la mesure du possible faire référence à des représentations standards [Preuveneers 06].

A l'autre bout de l'échelle, la représentation du contexte sous forme d'ontologies est plus complexe, mais permet une expressivité beaucoup plus grande. En outre, la standardisation permet de ne plus être application-dépendant et d'avoir des modèles de représentation du contexte utilisables d'une application à l'autre (par exemple, représentation du contexte de mesure de l'humidité du sol qui nécessite une prise de température). Les ontologies permettent également de faire des raisonnements et donc d'avoir des règles de comportement des capteurs en fonction des phénomènes observés [Hu 07].

Au cours de nos différents travaux, nous avons mise en œuvre plusieurs de ces méthodes pour représenter le contexte : les valeurs-clés [Chen 15b, Jacquot 09], les langages à balises et les bases de données [Jacquot 09] et les ontologies [Bendadouche 12c]. De manière générale, le choix de la méthode est étroitement lié aux ressources disponibles. Au niveau des nœuds du réseau, les valeurs-clés sont bien souvent les plus adaptées, car faciles à déterminer et peu gourmandes en mémoire. En revanche au niveau du système central de collecte des données, les ontologies peuvent exprimer tout leur potentiel de représentation et de raisonnement.

Nous venons de voir que plusieurs méthodes de représentation du contexte pouvaient être mises en œuvre. La modélisation d'un état du système à un instant donné n'est qu'une étape dans une approche contextuelle. En effet, ce type de démarche est cyclique [Perera 14] : on fait l'acquisition de données brutes, on calcule l'état du contexte à partir de ces données, on fait un raisonnement sur le contexte afin de prendre des décisions pour faire évoluer le système afin de répondre à l'évolution du contexte et le cycle recommence.

Pour [Abowd 99], les systèmes contextuels utilisent donc le contexte de manière pertinente pour satisfaire au mieux les besoins des utilisateurs :

"A system is context-aware if it uses context to provide relevant information and/or services to the user, where relevancy depends on the user's task."

2.1.2 Les approches contextuelles en agriculture

L'usage des WSN en agriculture est très divers et fonction de beaucoup de paramètres : type de culture, intérieur ou extérieur, présence d'arbres ou non, fixe ou mobile, etc. Il est donc important de pouvoir prendre en compte le contexte du réseau et le type d'application afin de pouvoir adapter le fonctionnement des nœuds au mieux et préserver ainsi l'énergie au maximum. En outre, l'utilisation d'approche contextuelle permet de rendre plus robuste le fonctionnement des réseaux et l'acquisition des données.

On retrouve dans la littérature plusieurs exemples prenant en compte le contexte pour gérer avec efficacité la collecte des données au sein des WSN. La plupart du temps les auteurs mettent en œuvre une modélisation du contexte sous forme d'ontologies. Dans [Hailemariam 13], l'utilisation d'un raisonneur permet de prendre des décisions : en fonction d'un seuil d'humidité dans le sol, l'irrigation est déclenchée. Le contexte peut être également intégré dans le middleware gérant le fonctionnement des nœuds du réseau, c'est ce que propose [Hwang 11b] pour la gestion d'un WSN de pilotage de serres. Certains auteurs, comme [Kim 13], propose des modélisations plus génériques pour gérer l'information issue de capteurs dans le cas de certaines typologies d'applications, comme les animaux instrumentés.

On peut également avoir une approche contextuelle adaptée aux applications agricoles sans avoir recours aux ontologies. Par exemple, [Mohammadrezaei 11] utilise la logique floue pour modéliser les règles de décision issue des mesures des nœuds. [Lee 11] quant à lui, propose d'adapter la communication au niveau de la couche MAC¹⁸ en fonction de l'information à transmettre et des conditions de transmission. Le contexte peut également être utilisé pour définir une stratégie de collecte de l'information par un nœud puits mobile passant de parcelle en parcelle [Brinis 16].

2.2 Une approche contextuelle multi-échelle

Les approches contextuelles sont donc largement développées afin d'optimiser le fonctionnement des réseaux de capteurs, y compris dans le cadre des applications agricoles. Dans cette section nous allons présenter comment nous avons mis en œuvre ce type d'approche dans le cadre de nos travaux.

2.2.1 Notion de contexte multi-échelle

Le choix a été fait d'avoir une déclinaison à différentes échelles du contexte : au niveau des capteurs, au niveau du fonctionnement du réseau et au niveau de l'application s'appuyant sur le réseau de capteurs. On peut donc considérer que notre approche de la notion de contexte est multi échelle comme le synthétise la Figure 2.1.

18. Media Access Control

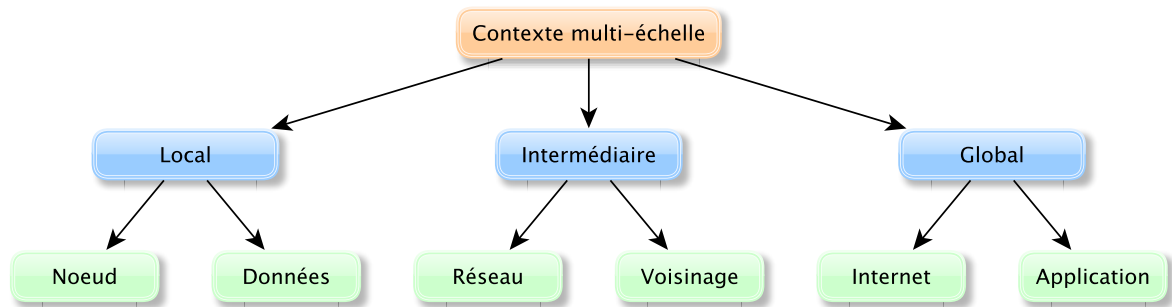


Figure 2.1 – Contexte multi-échelle

Cette démarche de prise en compte de contexte à différents niveaux permet d’avoir une optimisation du fonctionnement du réseau au plus près des contraintes : ressources énergétiques limitées pour le capteur, bande passante restreinte au niveau du réseau, nécessité d’avoir toute l’information pertinente pour les applications...

Suivant le niveau du contexte à modéliser, nous avons mis en œuvre des représentations de type valeurs-clés à l’échelle du nœud ou des protocoles de routage, de type base de données au niveau de la passerelle du réseau et des ontologies au niveau des applications. Les sections suivantes présentent ces différents modes de représentation du contexte en fonction des échelles considérées.

2.2.2 Contexte et capteurs

Estimation des données

Un des premiers éléments dépendant du contexte au niveau des nœuds du réseau est la donnée acquise en elle-même. Dans le cadre des applications de suivi agrienvironnemental qui nous intéressent, l’évolution des données est relativement lente par rapport à une fréquence d’acquisition classique de type horaire : température, humidité du sol, croissance de plante... On peut donc considérer que d’une mesure à l’autre la variation des données est faible. Dans le cadre de la thèse de [Jacquot 10], nous avons pris en compte cet élément de contexte afin de limiter les envois de données pour restreindre la consommation énergétique des nœuds. Pour cela, nous avons mis en œuvre des techniques basées sur l’estimation des données. Les estimateurs utilisés sont de type polynomial afin de limiter le coût-processeur pour leur calcul. Les estimateurs sont associés à un seuil fixé par l’utilisateur et fonction de la nature des données pour choisir les données à transmettre. Une régression linéaire intégrant les valeurs précédentes s’avère le plus souvent suffisante pour les mesures de température, d’humidité, de niveau de batterie du nœud (voir la Figure 2.2).

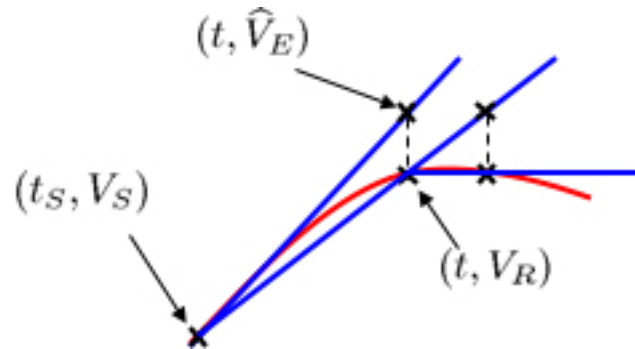


Figure 2.2 – Principe de l'estimation des mesures [Jacquot 10]

Lorsque le nœud réalise une mesure, il compare la valeur acquise (V_R) avec celle calculée par l'estimateur (\hat{V}_E) : si l'écart entre les deux est supérieur à la valeur-clé de seuil, l'estimateur est remis à jour en intégrant cette nouvelle valeur ; la nouvelle valeur de l'estimateur est ensuite transmise au nœud puits du réseau. Grâce à cette solution, le nœud puits peut fournir une valeur de donnée sur la base de son estimateur à n'importe qu'elle fréquence, sans interroger à nouveau le nœud. Il faut des données ayant de faibles variations par rapport à la fréquence d'échantillonnage pour que l'estimation de la valeur ne soit pas trop éloignée de la valeur réelle.

La Figure 2.3 montre en bleu la quantité de messages envoyés pour 100 points acquis et ce en fonction de la fréquence du signal. On constate que le gain est conséquent pour des signaux de faible fréquence. On peut diminuer le volume de données échangées jusqu'à 88% tout en gardant un niveau de précision suffisant.

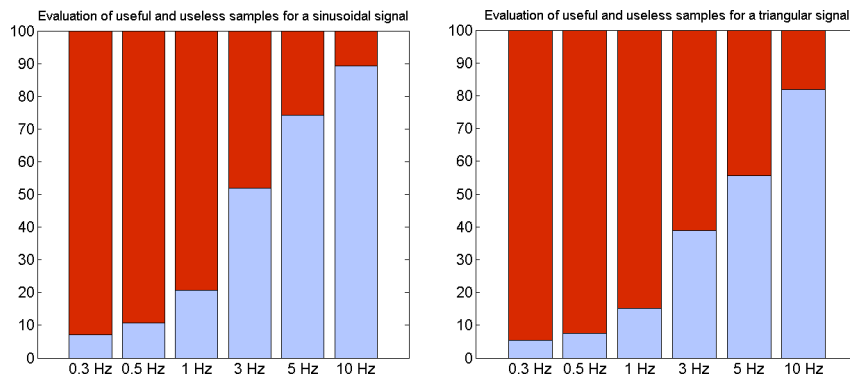


Figure 2.3 – Évaluation du gain en messages en fonction de la fréquence du signal mesuré [Jacquot 10]

Cette approche a été évaluée sur des jeux de données réelles acquises sur des stations météorologiques d'Irstea : température, humidité, etc. Nous avons utilisé ces données pour faire une simulation de WSN. La simulation consiste en un réseau de 10000 nœuds

exploitant 12 grandeurs différentes : 3 relevés de précipitations, 3 relevés de température, 3 hauteurs d'eau, 1 relevé d'humidité ambiante, 1 relevé de débit d'eau, et enfin 1 relevé de vitesse du vent. Les relevés sont effectués sur 3 mois avec une fréquence horaire, ce qui représente 2160 échantillons par capteur. Chaque noeud comporte un nombre aléatoire de capteurs allant de 1 à 12 pouvant utiliser plusieurs fois un même relevé de données réelles.

Le volume de données sans estimateur s'élève à 1.5 Go sur un réseau de ce type. Avec l'estimateur polynomial d'ordre 1 intégré à LiveNCM¹⁹, ce même volume est réduit de 55% ce qui ne représente plus que 663 Mo de données échangées. Chaque noeud n'enverra en moyenne que 66 ko contre 146 ko d'échantillons sur une période de 3 mois. La durée de vie du réseau sera ainsi accrue, la communication étant le premier poste de consommation d'un capteur.

On peut généraliser ce type d'agrégation temporelle de données suivant la dimension spatiale du réseau afin de réduire encore plus le volume de données échangées [Lu 10].

2.2.3 Contexte et réseau

Un méthode d'administration contextuelle

La norme SNMP²⁰ [Case 93] est très populaire dans le domaine des réseaux câblés pour administrer les périphériques informatiques et de nombreux outils existent pour gérer l'information et configurer à distance un réseau. Nous avons fait le choix de mettre en œuvre ce protocole pour la gestion et l'administration des WSN en l'adaptant aux contraintes des WSN et notamment à leurs faibles ressources énergétiques. Nous avons donc développé le protocole LiveNCM qui permet un accès aux données d'administration du réseau tout en limitant la volumétrie de messages échangés par les nœuds [Jacquot 09].

La passerelle qui assure la connexion entre le réseau de capteurs et Internet comporte un agent SNMP possédant une image du réseau sur la forme d'une base de données appelée MIB²¹ mise à jour par les messages des nœuds collectant les données : lorsqu'un nœud envoie un message, celui-ci contient des mesures faites par le capteur mais également des données de contexte (charge de la batterie, niveau d'utilisation de la mémoire...) (voir la Figure 2.4).

On a ainsi en permanence au niveau de la MIB une image de l'état de chacun des nœuds du réseau et de leur contexte sans avoir à faire des requêtes sur l'ensemble du réseau (voir la Figure 2.5). L'utilisation des messages de données mesurées pour acheminer les informations de contexte permet de limiter le nombre de messages échangés et d'économiser les batteries des nœuds.

19. LiveNode Non invasive Context-aware and Modular management

20. Simple Network Management Protocol

21. Management Information Base

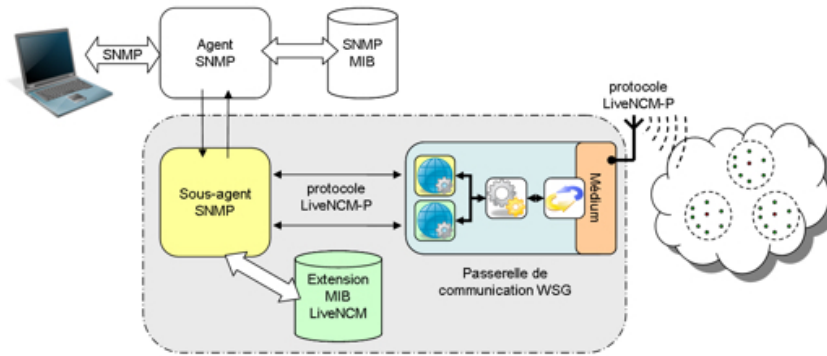


Figure 2.4 – Passerelle de réseau du protocole LiveNCM [Jacquot 09]

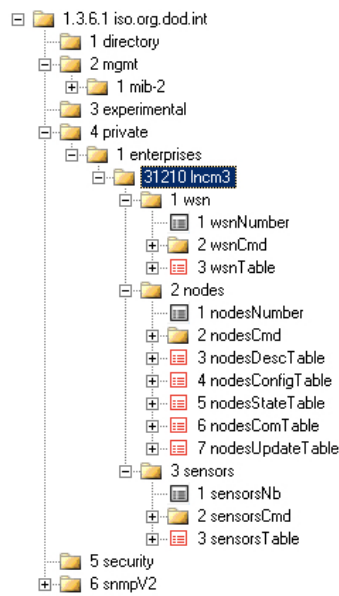


Figure 2.5 – Structure de la MIB dans le protocole LiveNCM [Jacquot 09]

Une prise en compte du contexte pour le routage au sein des réseaux

Nous avons mis en œuvre des WSN pour la collecte des données en agriculture. Dans [Chen 15a] nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'avènement de l'internet des objets et de l'IPv6²², ainsi que du protocole de routage RPL²³ propre à ce type de réseaux et des contraintes liées aux réseaux à faibles ressources comme les LLN²⁴.

Les travaux ont permis de dégager les caractéristiques nécessaires à la mise en œuvre des LLN dans le cadre de l'agriculture et de proposer un nouveau type de WSN qui est une spécialisation des LLN au cadre agricole : les A-LLN²⁵. Cette spécialisation intègre les nombreuses contraintes liées aux applications considérées : nature diverse des applicatifs, fonctions de collecte de données et de commande, capacités des nœuds hétérogènes, réseaux peu denses, durée de vie du WSN à maximiser, paramètres des liens radio changeants, protocole de routage devant intégrer des notions de qualité de service...

Une première étude menée a permis de montrer que les véritables enjeux portaient sur le routage de l'information dans ce type de réseaux A-LLN. En effet, le protocole RPL doit être reconsidéré afin d'intégrer toutes les contraintes des A-LLN [Chen 13]. Le protocole RPL présente de nombreux paramètres (RPL instance, objective function, storing / non-storing mode, DODAG²⁶ repair, Trickle timer parameter...) qui doivent pouvoir s'adapter au contexte de mise en œuvre de chaque WSN déployé (voir la Figure 2.6). Il n'y a pas de paramètres standards pour les A-LLN et une approche contextuelle est indispensable pour optimiser le fonctionnement des WSN au regard de leur diversité.

22. Internet Protocol version 6

23. Routing Protocol for Low-Power Lossy Networks

24. Low power and Lossy Network

25. Agricultural Low power and Lossy Network

26. Destination Oriented Directed Acyclic Graph

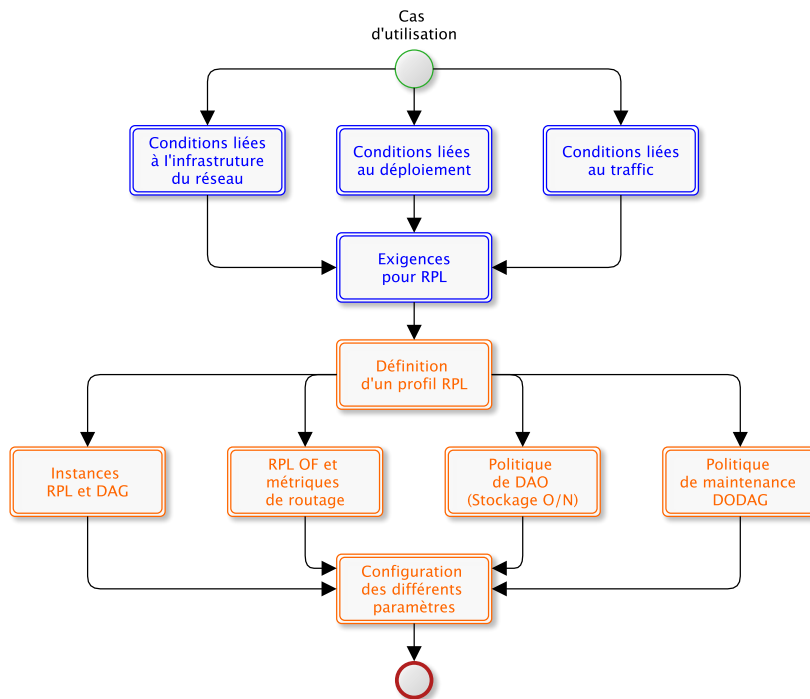


Figure 2.6 – Contextualisation du protocole RPL d’après [Chen 13]

Des simulations réalisées afin de mieux comprendre le protocole RPL ont permis de faire trois propositions de prise en compte du contexte pour optimiser le protocole RPL au cas des A-LLN. Au-delà de ce type de réseau, ces propositions permettent de définir un cadre méthodologique pour conférer au protocole RPL une dimension contextuelle grâce à la définition de valeurs-clés définissant des métriques pour le protocole.

Les trois propositions sont les suivantes [Chen 15a] :

- une métrique basée sur l’énergie et une nouvelle fonction d’objectif pour le protocole RPL prenant en compte la dimension ressource énergétique des nœuds ;
- une fonction d’objectif contextuelle multicritère pour le routage, intégrant le contexte au travers des notions d’énergie, de QoS...
- un algorithme Trickle contextuel.

Une métrique basée sur l’énergie et une nouvelle fonction d’objectif pour le protocole RPL - Afin de pouvoir choisir les routes les plus adaptées reliant les nœuds dans le réseau, les protocoles de routage utilisent des métriques permettant de comparer les routes entre-elles. La métrique la plus couramment utilisée pour le protocole RPL est l’ETX²⁷. L’ETX permet d’évaluer la qualité du lien entre deux nœuds en estimant le

27. Expected Transmission Count

nombre de transmissions nécessaire pour envoyer un paquet de données. Cette métrique permet ainsi par sommation de chaque ETX entre deux nœuds de qualifier les routes dans le réseau.

L'inconvénient de cette métrique est qu'elle tend à solliciter toujours les mêmes nœuds dans le réseau ce qui augmente leur consommation d'énergie. Dans le cas de réseau de type A-LLN, la contrainte énergétique est très grande sur les nœuds ne possédant qu'une batterie et l'on ne peut pas les mobiliser en permanence sous peine de voir la durée de vie du réseau réduite de manière drastique.

La première proposition consiste donc à définir une métrique permettant de continuer à privilégier les meilleures routes dans le réseau tout en diminuant l'impact sur la consommation des nœuds. Parallèlement à la détermination des ETX, les nœuds estiment leur énergie restante permettant de calculer la métrique RE pour Remaining Energy.

Pour le calcul des routes, un compromis est fait entre les deux métriques ETX et RE en fonction de la nature de l'A-LLN : des seuils permettent de régler l'apport de chacune. Une implémentation de l'algorithme au sein du protocole RPL a été proposée.

Une fonction d'objectif contextuelle multicritère pour le routage - Dans un réseau de type A-LLN, les fonctions supportées par les nœuds sont de différentes natures : collecte de données, contrôle d'actionneur... Les nœuds sont souvent hétérogènes. Il y a moins de redondance que dans d'autres types de réseau et le maintien de la connectivité des nœuds, la fiabilité, le besoin d'avoir une information sont souvent plus importants que la performance pure du réseau.

En plus des deux précédemment présentées, trois nouvelles métriques permettant de mieux appréhender le contexte de l'A-LLN ont été proposées : la disponibilité des nœuds, leur fiabilité et la disponibilité de données à envoyer au nœud puits. Ces métriques reflètent le contexte de fonctionnement de l'A-LLN et permette de choisir des routes fiables optimisant la collecte des données tout ne surchargeant pas les nœuds.

Au niveau du protocole, ces nouvelles métriques sont intégrées via les registres "link color" de RPL et sont mises en œuvre sous forme de contraintes qui servent à faire une présélection au niveau des nœuds du réseau pour ensuite calculer les métriques ETX et RE.

Un algorithme Trickle contextuel - Dans les LLN, les nœuds du réseau sont organisés suivant un graphe acyclique orienté nommé DODAG. La construction et le maintien de ce graphe sont réalisés par l'échange d'un certain nombre de messages de contrôle. Parmi ces messages, le message DIO²⁸ est un message d'information des nœuds sur les caractéristiques du DODAG leur permettant d'actualiser leur propre information sur la

28. DODAG Information Object

structure du réseau. Les messages DIO sont émis de manière périodique. La fréquence d'émission des DIO est pilotée par un temporisateur géré par l'algorithme Trickle. Cet algorithme est conçu pour diffuser de manière robuste de l'information dans un réseau en minimisant la consommation énergétique.

Nous avons proposé une approche contextuelle pour l'algorithme Trickle afin d'optimiser le trafic des messages de contrôle. En effet, en fonction de leur charge, les nœuds du réseau n'ont pas le même comportement vis-à-vis des messages DIO et l'algorithme de base du Trickle ne prend pas en compte ces différences. Le comportement du nœud est donc intégré au sein de l'algorithme Trickle grâce à deux nouveaux paramètres permettant d'intégrer l'historique de transmissions des messages DIO du nœud.

Au-delà de ces fonctions de base, on propose d'utiliser la valeur des données acquises par les nœuds pour détecter des phases de fonctionnement du réseau anormales et temporaires et ainsi de figer le Trickle timer jusqu'au retour de collecte de données cohérentes.

2.2.4 Contexte et application

La modélisation du contexte du point de vue des applications a pour objectif d'avoir un fonctionnement du réseau en cohérence avec le phénomène observé. Chaque nœud doit pouvoir adapter son mode de fonctionnement pas uniquement en fonction de son état ou de celui de ses proches voisins, mais aussi en fonction des besoins de l'application. Pour assurer cette approche contextuelle du fonctionnement de réseau, il convient d'avoir une méthode de représentation permettant de formaliser les états des nœuds ainsi que les échanges entre-eux et de pouvoir faire des raisonnements à partir de ces états. Les ontologies permettent une telle approche.

[Gruber 95] définit une ontologie comme une représentation explicite d'une conceptualisation. [Studer 98] a ajouté à cette définition le fait que la représentation devait être formelle et que la conceptualisation devait être partagée et faire l'objet d'un consensus entre plusieurs personnes. Depuis ces premières définitions générales, de nombreux travaux ont proposé différentes ontologies suivant leur finalité : ontologies terminologiques, de données, logiques. Nous avons proposé dans [Roussey 11] une classification en fonction du niveau d'interopérabilité des ontologies et de la richesse des connaissances représentées (voir la figure 2.7).

Afin de modéliser le contexte pour des applications reposant sur des réseaux de capteurs, nous avons étudié les différentes ontologies existantes pouvant remplir cette tâche [Bendadouche 12b]. Il est apparu que l'ontologie SSN²⁹ était la plus adaptée. SSN est une ontologie créée par le W3C³⁰ pour gérer les capteurs et elle a d'ailleurs été mise en œuvre dans le cadre d'application agricole pour gérer des stations météo [Compton 09].

29. Semantic Sensor Network Ontology

30. World Wide Web Consortium

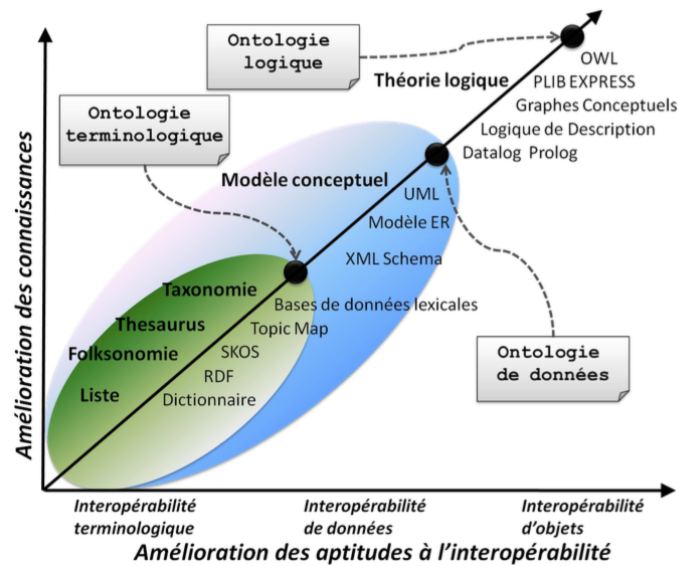


Figure 2.7 – Ontologies et niveau d'interopérabilité [Roussey 11]

L'ontologie SSN présente une limitation, elle ne prend pas en compte la dimension communication sans fil dans sa modélisation, ce qui ne permet pas d'appréhender totalement le contexte de nos réseaux de capteurs. Nous avons donc choisi d'étendre l'ontologie SSN avec la modélisation de la partie communication [Bendadouche 12c]. De même nous avons également affiné la modélisation de la partie énergie qui est un élément important pour les réseaux de capteurs sans fil. Les figures 2.8 et 2.9 montrent des exemples des extensions (en bleu) que nous avons proposées à SSN.

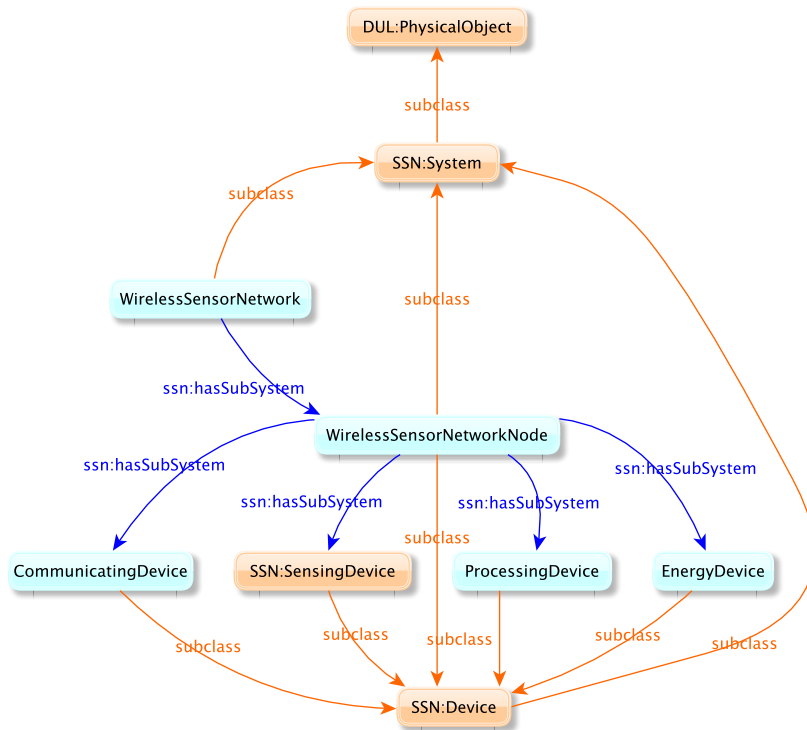


Figure 2.8 – Modélisation d'un capteur sans fil dans SSN d'après [Bendadouche 12c]

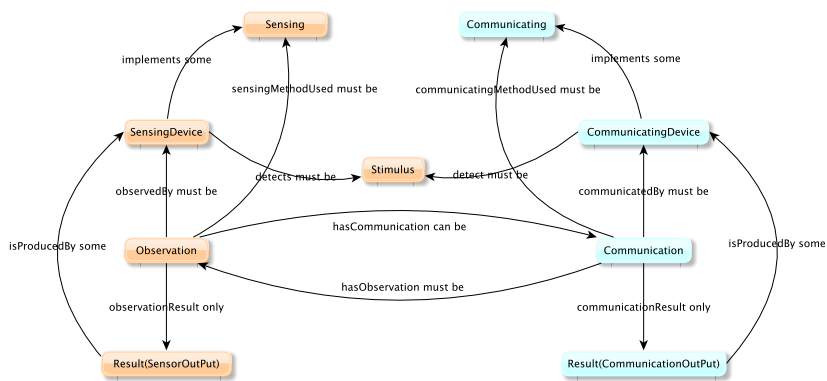


Figure 2.9 – Modélisation de la communication sans fil d'un capteur dans SSN d'après [Bendadouche 12c]

Une ontologie représentant le WSN n'est pas suffisante pour appréhender le contexte complet d'une application. Il faut être à même également de décrire le phénomène observé par les capteurs et les règles de décision qui en découlent. Par exemple, nous avons appliqué cette modélisation au cas d'un réseau de capteurs surveillant un bassin versant afin de prévenir les crues [Sun 15]. Le réseau de capteurs peut ajuster son fonctionnement (fréquence d'acquisition, fréquence d'envoi des données) en fonction du phénomène observé : tant qu'il ne pleut pas, le réseau peut rester en veille ; dès que les capteurs pluviométriques détectent une chute de pluie, les capteurs de hauteur d'eau s'activent et surveillent la hauteur des cours d'eau au sein du bassin versant. Un tel fonctionnement permet d'optimiser la durée de vie du réseau en gérant au mieux les temps d'activité des capteurs et la fréquence des échanges [Bendadouche 12a].

De manière plus générale, il est possible d'avoir une approche méthodologique pour concevoir une application contextuelle s'appuyant sur de la collecte de données via des WSN. Dans un premier temps il convient de bien définir le domaine considéré et de choisir ou construire les ontologies spécifiques : par exemple la question de l'irrigation des parcelles, de la surveillance environnementale... On choisit ensuite les capteurs en fonction des mesures à réaliser et on instancie SSN en fonction de ce choix. Une fois le domaine bien défini, on en déduit les messages échangés dans le réseau et les règles de décision. Pour cela on peut mettre en œuvre des machines d'états afin de décrire les situations considérées [Sun 16] (voir la Figure 2.10). Une simulation sous Jade permet de valider l'ensemble du fonctionnement du système [Bendadouche 12a]. Les valeurs de seuil retenues peuvent ensuite être implémentées sous forme de valeurs-clés dans les nœuds afin qu'ils intègrent les éléments de contexte adaptés à l'application et adoptent un comportement économe en énergie.

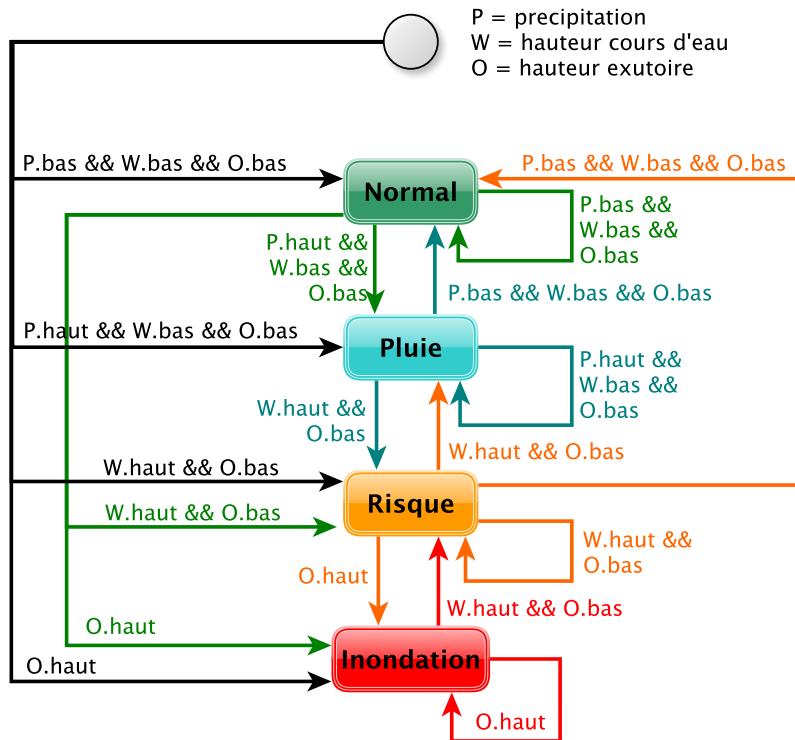


Figure 2.10 – Exemple de machine d’état pour la gestion des inondations par WSN d’après [Sun 16]

2.3 Conclusion

Les approches contextuelles sont de plus en plus répandues car elles permettent de mieux intégrer la diversité des données issues des objets connectés de plus en plus présents y compris en agriculture [Chanet 16]. Elle permettent en outre d’améliorer le fonctionnement des WSN en minimisant les échanges de messages et en permettant une adaptation du comportement des nœuds aux phénomènes observés et aux besoins des applications.

L’intégration du contexte dans le fonctionnement des WSN permet d’accroître leur durée de vie par une minimisation du nombre de messages échangés. Elle permet d’adapter les prises de décision dans le réseau au plus près des besoins des utilisateurs (e.g., choix des fréquences d’acquisition et de transmission). Une bonne connaissance du contexte rend le système également plus robuste. Par exemple, elle permet le contrôle de cohérence des données comme des relevés de température sur une parcelle. On peut également intégrer des données issues de sources extérieures afin d’accroître la robustesse de fonctionnement du réseau.

Les recherches que nous avons menées au cours de ces années ont permis de proposer

différentes façons de représenter le contexte des WSN afin d'optimiser leur fonctionnement. Le choix a été fait de travailler à différentes échelles : celle du nœud, celle du réseau et celle de l'application. Pour cela plusieurs modélisations du contexte ont été utilisées : utilisation de valeur-clés, de base de données et d'ontologies. La Table 2.1 présente une synthèse du positionnement de chacune des thèses co-encadrées.

Représentation du contexte			
	Valeur-clé	Base de données	Ontologie
Noeud	A. Jacquot Y. Chen		R. Bendadouche J. Sun
Réseau	Y. Chen	A. Jacquot	
Application			R. Bendadouche J. Sun

Table 2.1 – Représentation du contexte en fonction de l'échelle pour les différentes thèses

Malgré la diversité des approches possibles, celles à base d'ontologies sont en voie de se généraliser pour la représentation des contextes. En effet, leurs capacités de modélisation et de raisonnement leur permettent de répondre pleinement aux enjeux de l'IoT et du Big data. La massification des données rend obligatoire la prise en compte de la dimension sémantique afin de pouvoir gérer de manière efficace les gros volumes de données. Une approche basée uniquement sur des métadonnées est trop limitée et n'offre pas les garanties d'une bonne interopérabilité.

Notre proposition à base d'automate nous a permis de valider les concepts, mais il faudra pouvoir décrire de manière plus fine les phénomènes en considérant des automates plus complexes intégrant des transitions moins élémentaires que de simples seuils. Les automates temporisés et des transitions à base de logique floue devraient permettre de traduire de manière plus fidèle la dynamique de phénomènes naturels complexes.

Le chapitre suivant montrera que la modélisation du contexte est un enjeu important pour l'agriculture bien au-delà des questions de WSN et d'acquisition de données. En effet, comme nous l'avons précédemment évoqué, l'agriculture est à une période charnière où il faut repenser les pratiques agricoles. Pour bien appréhender le fonctionnement des

agrosystèmes, il convient de pouvoir les modéliser de manière pertinente et consensuelle : les ontologies sont un outil à même de répondre à ces enjeux.

Chapitre 3

Informations contextuelles et agriculture

"l'agriculture numérique n'est pas le numérique dans l'agriculture : c'est bien plus!!"
C. Huyghe, *Conférence API-AGRO - 2016*

— Thèses co-encadrées en lien avec ce chapitre —

Fabien Amarger - Vers un système intelligent de capitalisation de connaissances pour l'agriculture durable : Construction d'ontologies agricoles par transformation de sources existantes et interrogation intelligente de données - Université Paul Sabatier de Toulouse - Informatique - 2015

Vincent Soullignac - Système informatique de capitalisation de connaissances et d'innovation pour la conception et le pilotage de systèmes de culture durables - Université Blaise Pascal - Informatique - 2012

3.1 Contexte et agriculture, au-delà des capteurs

3.1.1 Des besoins de contextualisation des connaissances pour l'évolution de l'agriculture

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, l'agriculture est en pleine mutation, et le numérique joue un rôle important dans cette évolution. La multiplication des données collectées (capteurs, agroéquipements, robots...) ouvre les portes du Big data à l'agriculture. L'espoir est grand de voir les TIC favoriser une transition rapide vers l'agroécologie ou vers une agriculture répondant mieux aux enjeux économiques, environnementaux et sociaux auxquels le monde agricole, et plus largement la société, est confronté.

Toutes les données collectées ne sont mobilisables que si l'on connaît leur contexte d'acquisition : localisation, datation, contexte pédoclimatique, etc. Il faut donc être à même d'évaluer ce contexte de manière précise et efficace. Cette contextualisation est nécessaire pour traiter les données dans le cadre du Big data, mais également pour les agronomes pour faire évoluer les systèmes de culture [Gakuru 09]. L'agroécologie est par définition une vision très contextualisée de l'agriculture. On constate rapidement que cette contextualisation peut être de deux natures : l'une permettant aux agronomes de comprendre de manière fine les phénomènes en jeu dans les mécanismes agronomiques, par exemple la protection intégrée ; l'autre permettant d'exploiter au mieux les données dans le cadre de l'agriculture numérique, par exemple dans des OAD³¹ ou pour la publication des données sur le web de données. Les connaissances ont besoin de cette contextualisation et, en agriculture, on doit mettre en œuvre des « savoirs situés » [Javelle 15].

L'agriculture a donc un besoin de contextualisation pour avancer vers une production plus respectueuse de l'environnement. Cette contextualisation est nécessaire pour les échanges entre membres de différentes communautés (gestion de connaissances) et pour les applications et services numériques (ingénierie des connaissances). Nous avons donc exploré ces deux voies dans le cadre des thèses de V. Soullignac et de F. Amarger :

- Construction d'outils collaboratifs pour la production de connaissances en agriculture [Soullignac 12a] ;
- Construction d'ontologies pour des bases de connaissances au service de l'agriculture [Amarger 15b].

Les deux approches mettent en jeu des ontologies, mais dans le cas des outils collaboratifs, la formalisation, notamment des liens entre concepts, est peut-être moins explicite. En effet, l'information étant manipulée par des personnes, les relations peuvent être implicites et l'utilisateur donne du sens aux liens. En revanche dans le cas de l'ingénierie des connaissances, c'est l'ordinateur au travers de règles, de modèles qui exploite les informations : les relations entre les concepts doivent donc être clairement explicitées.

31. Outils d'Aide à la Décision

Nous allons présenter dans la suite de ce chapitre les travaux menés pour prendre en considération ces deux cas d'usage.

3.1.2 Modélisations informelle et formelle au service des connaissances en agriculture

Les échanges de connaissances et l'apprentissage en agriculture sont encore largement basés sur les échanges entre agriculteurs et conseillers au sein de communautés de proximité de taille réduite [Soulignac 10]. Si l'on souhaite accompagner ces communautés et les élargir au niveau national, il convient de proposer des outils permettant la co-construction et le partage de la connaissance. Par exemple, il est intéressant de pouvoir aider un agriculteur entamant une démarche en agriculture biologique en lui proposant des outils internet adaptés à ses besoins. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser les outils du web 2.0 avec une dimension sémantique [Soulignac 12b]. Pour Ermine [Ermine 00], *"un système de connaissances est donc vu comme de l'information qui prend une certaine signification dans un contexte donné"* (voir Figure 3.1). La notion de sémantique est donc intrinsèque à celle de connaissance.

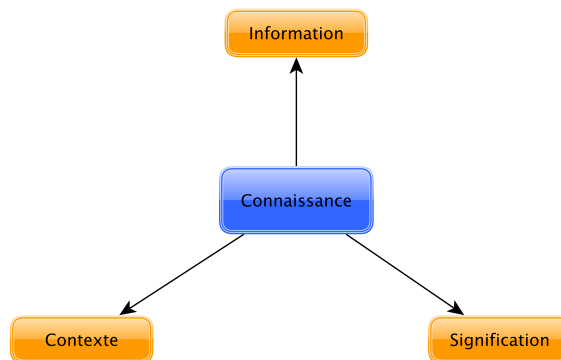


Figure 3.1 – Macroscopie des connaissances d'après [Ermine 00]

Afin de pouvoir échanger facilement au sein des communautés, le choix de la méthode de formalisation s'est porté sur la méthode MASK³² qui est moins formelle que les ontologies et permet d'avoir un échange plus aisé avec les thématiciens [Matta 02]. Cette méthode permet sous différentes vues de décrire un domaine, son contexte et la connaissance associée. La Figure 3.2 montre un exemple de modèle pour les machines agricoles [Soulignac 12a]. Ces modes de représentation permettent de pouvoir échanger facilement avec les différents acteurs, le formalisme étant très facilement compréhensible.

32. Modélisation, Analyse et Structuration de (K)Connaissances

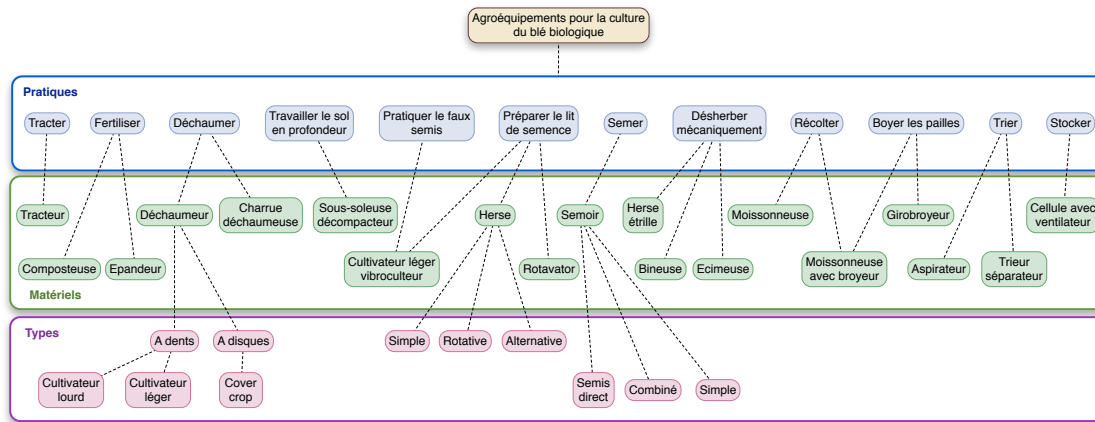


Figure 3.2 – Exemple de modèle MASK appliqué aux agroéquipements nécessaires à la culture du blé biologique d’après [Soulignac 12a]

Au travers d’entretiens et en intégrant la littérature, on peut ainsi représenter les connaissances liées à un domaine d’activités : par exemple, la production de blé biologique. La méthode MASK est pertinente pour des échanges entre personnes mais pour manipuler des connaissances de manière automatique, il est nécessaire d’utiliser des méthodes plus formelles comme les ontologies.

Les ontologies ont largement été utilisées dans le domaine de l’agriculture, principalement pour résoudre des problèmes d’interopérabilité [Roussey 11]. Mais elles sont encore peu mobilisées dans ce secteur pour la modélisation de contexte et la construction de base de connaissances comme cela peut être le cas dans d’autres domaines tels que le médical [Zweigenbaum 99], la gestion de corpus documentaire [Hernandez 07], le bâtiment [Yurchyshyna 08], etc. Nous avons donc choisi de voir comment nous pourrions construire des ontologies de manière semi-automatique afin de pouvoir les mobiliser dans le cadre de l’agroécologie et de la construction de base de connaissances pour le web de données agricoles.

Le domaine de l’agriculture est vaste et on ne peut pas prétendre le modéliser en entier. Il convient de définir des sous-domaines soit thématiques (machines, bioagresseurs...) soit par criticité pour répondre à un problème donné (lutte contre les adventices, fertilisation azotée...) [Soulignac 10]. Si l’on souhaite par exemple s’intéresser à la protection des cultures, il convient d’abord de définir ce qu’est une plante, puis un bioagresseur, puis les interactions entre-eux, puis les méthodes de lutte. Pour cela il faut construire plusieurs briques élémentaires réutilisables modélisant chaque connaissance nécessaire. Par exemple dans [Roussey 13], nous avons proposé une méthode pour construire un module ontologique définissant un taxon agronomique (voir la Figure 3.3). Cette brique élémentaire de

connaissance peut ensuite servir de noyau pour agréger d'autres briques afin de couvrir l'ensemble d'un domaine considéré, comme celui de la protection des cultures.

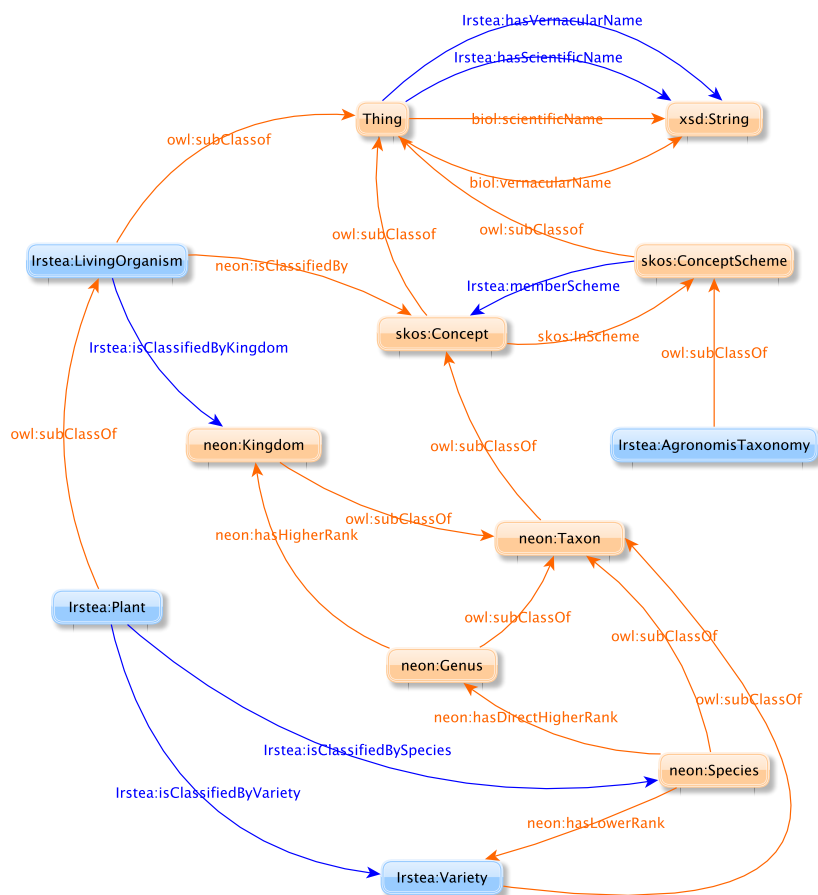


Figure 3.3 – Exemple de module ontologique pour constituer une base de connaissances d'après [Roussey 13]

3.2 Gestion des connaissances et ingénierie des connaissances pour l'agriculture

3.2.1 La gestion des connaissances au sein de communauté

L'agroécologie nécessite d'appréhender l'agriculture sous un autre angle. Pour cela, il faut que les différents acteurs (agriculteurs, conseillers, chercheurs...) puissent partager leurs connaissances et leurs retours d'expérience de manière très large et très ouvertes. Les outils collaboratifs permettent cela et sont tous indiqués pour servir de support à

la structuration de communautés d'échanges permettant de construire l'agriculture de demain [Fortino 10].

Le choix a été fait de proposer un outil collaboratif permettant d'innover. Cette plateforme qui repose sur un wiki sémantique et sur une espace d'échanges est à même de capitaliser des connaissances et d'en produire des nouvelles [Soulignac 12c]. Elle s'appuie sur la méthode d'innovation C-K [Hatchuel 09]. Chaque élément des deux espaces est annoté par des mots clés : au sein de l'espace d'échanges, les éléments sont annotés par des mots issus du thésaurus AGROVOC ou créés par les utilisateurs ; au sein du wiki sémantique, les pages sont annotées avec des concepts issus d'une hiérarchie où ils sont liés entre-eux par des relations de type "sub class of", c'est une ontologie terminologique. La cohérence entre les deux modèles d'annotation est assurée par un processus d'appariement [Chhuo 12]. La Figure 3.4 illustre la mise en œuvre de l'outil pour gérer les connaissances dans le cas de l'agriculture biologique.

Knowledge Organic Farming and Innovation System

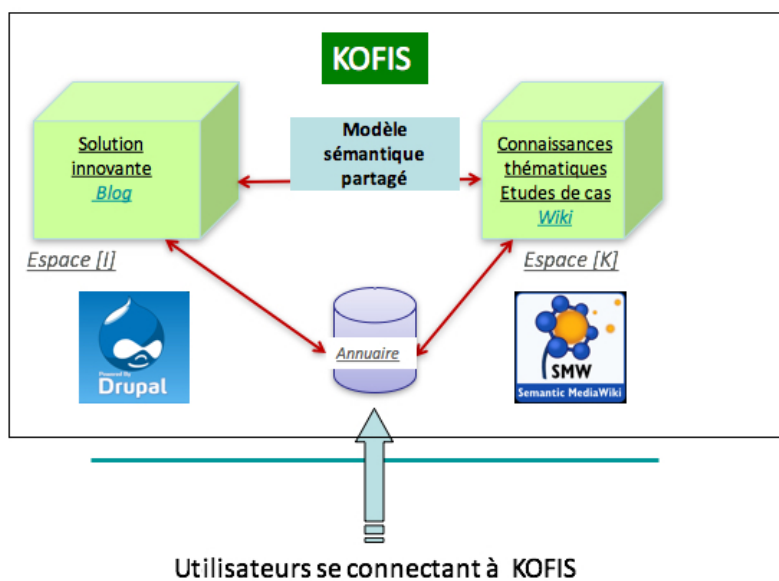


Figure 3.4 – Outil collaboratif développé pour gérer des connaissances en agriculture biologique [Soulignac 12c]

Lorsqu'un utilisateur se pose une question, il recherche tout d'abord dans l'espace de connaissances pour voir si son problème a une réponse déjà connue. Dans le cas contraire, il pose sa question dans l'espace d'échanges/blog et un dialogue s'instaure au sein de la communauté afin de trouver une réponse au problème soulevé en s'aidant de l'espace de connaissance. Cet outil permet à des communautés de produire des connaissances en les contextualisant grâce à un modèle d'annotation. Cette architecture sert de base à la future

plateforme du Ministère de l'Agriculture GECO pour accompagner les agriculteurs vers la réduction de l'usage des pesticides. Elle a été validée dans le cadre de la communauté du Réseau Mixte Technologique "Système de Cultures Innovants" sur la forme de l'outil AgroPeps³³.

L'ontologie terminologique utilisée est bien adaptée à la plateforme collaborative : les utilisateurs sont capables de donner du sens aux liens reliant les concepts. Mais si l'on souhaite pouvoir mobiliser ces connaissances sous forme de requêtes type SPARQL ou avoir accès via le web de données aux mesures issues des WSN, cela n'est pas suffisant et il faut être à même de construire des ontologies plus élaborées comme des ontologies de données ou logique (voir la Figure 2.7 page 33). Pour cela nous avons proposé une méthode de construction d'ontologies à partir de différents types de sources [Amarger 15a].

3.2.2 La construction de base de connaissances pour le web de données agricoles

La multiplication des équipements embarqués, des smartphones, des capteurs aux champs, etc., permet à l'heure actuelle de disposer de grands volumes de données spatiotemporelles. Le prochain enjeu est de rendre ces données disponibles à l'ensemble des acteurs de l'agriculture afin qu'ils puissent les mobiliser dans des outils d'aide à la décision et d'analyse [Goumopoulos 09, Xie 07]. Le Web de données est une opportunité pour accélérer cette mutualisation des données et, par conséquent, faire évoluer les pratiques agricoles.

Afin de pouvoir publier ces données sur le Web de données, il convient de structurer les relations entre les différents concepts appartenant au domaine de l'agriculture : plantes, maladies, ravageurs, pesticides, rotation... Un certain nombre de ressources sont disponibles et mobilisables : taxinomies, thésaurus, bases de données, etc. Par exemple, des données météorologiques issues de stations sont disponibles sur le web de données [Roussey 14]. En revanche, lorsque l'on s'intéresse à un thème particulier comme, par exemple, la protection des cultures, il n'existe pas d'ontologie couvrant le domaine. Il faut combiner plusieurs sources d'informations pour couvrir le domaine et l'ensemble de son contexte.

Nous avons donc développé un processus permettant de créer une ontologie décrivant les données concernant un domaine agricole comme par exemple l'observation des attaques des agresseurs sur les cultures, ainsi que les techniques de traitement des agresseurs. Cette ontologie permet de publier les données disponibles ; elle permet également d'annoter les nombreux documents mobilisables pour faire évoluer les pratiques de traitement contre des agresseurs [Roussey 16].

33. <http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Accueil>

Le processus se déroule en deux phases [Amarger 15b] :

- La première consiste à extraire des concepts et leurs relations dans les différentes sources disponibles abordant le domaine (thésaurus, bases de données) ; on agrège les concepts obtenus autour d'un module ontologique construit avec des experts (voir la Figure 3.5).
- La seconde a pour objectif de réunir les bases de connaissances brutes produites par la phase précédente en levant les éventuelles ambiguïtés afin d'obtenir une base de connaissances finale consensuelle du domaine considéré [Amarger 16a] (voir la Figure 3.6).

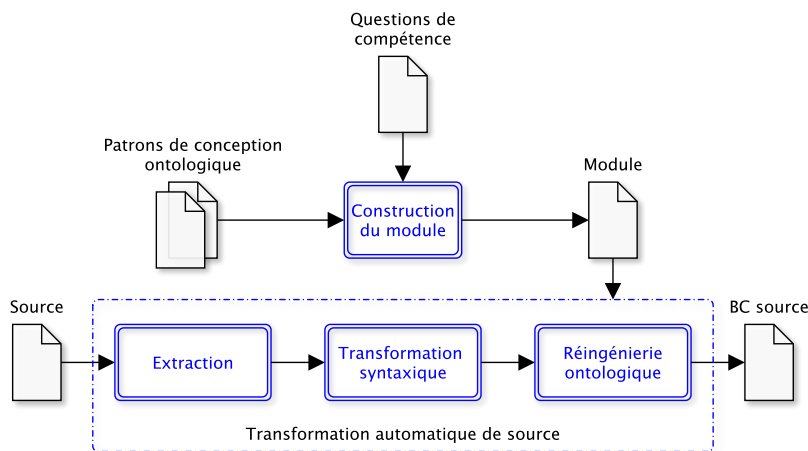


Figure 3.5 – Principe de la transformation d'une source de type thésaurus en base de connaissances d'après [Amarger 15b]

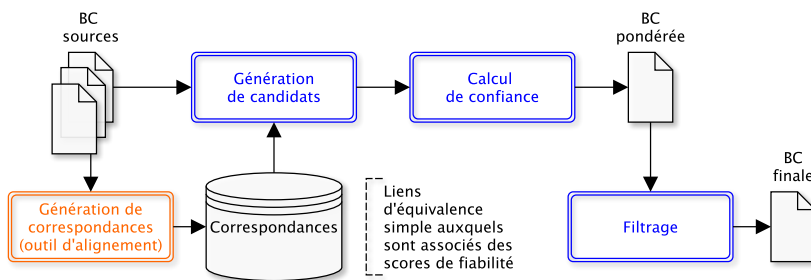


Figure 3.6 – Principe de la fusion de bases de connaissances d'après [Amarger 15b]

La méthode a été testée avec succès sur la constitution d'une ontologie sur les blés à partir de différents thésaurus : Agrovoc, TaxRef, NCBI Taxonomy [Amarger 15a].

On peut donc envisager de construire des ontologies pour répondre à un besoin particulier (base de connaissances, assurer l'interopérabilité entre SI³⁴) à partir de différentes sources non ontologiques et ce de manière rapide grâce au processus de transformation proposé [Amarger 16b].

3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les travaux menés autour de la gestion des connaissances. Cette dimension est indispensable pour l'IoT, car ce dernier ne consiste pas uniquement à connecter des objets mais également à donner du sens aux données collectées. La dimension sémantique permet ensuite d'exploiter pleinement les informations à des fins de publication sur le web de données ou à des fins de raisonnement pour prendre des décisions. La dimension sémantique permet de décrire le contexte des données et des moyens mis en œuvre pour les recueillir.

La gestion des connaissances est un enjeu très important pour l'agriculture. La remise en cause du modèle productiviste de l'agriculture nécessite de construire de nouveaux modèles de représentation et de concevoir de nouvelles règles de décision basées sur les connaissances des acteurs de terrain et sur les données recueillies dans le cadre de l'agriculture numérique via les capteurs in-situ (voir la Figure 3.7). Nous sommes dans un processus de co-conception itératif devant contextualiser/décontextualiser les systèmes de culture afin de répondre aux enjeux de l'agroécologie.

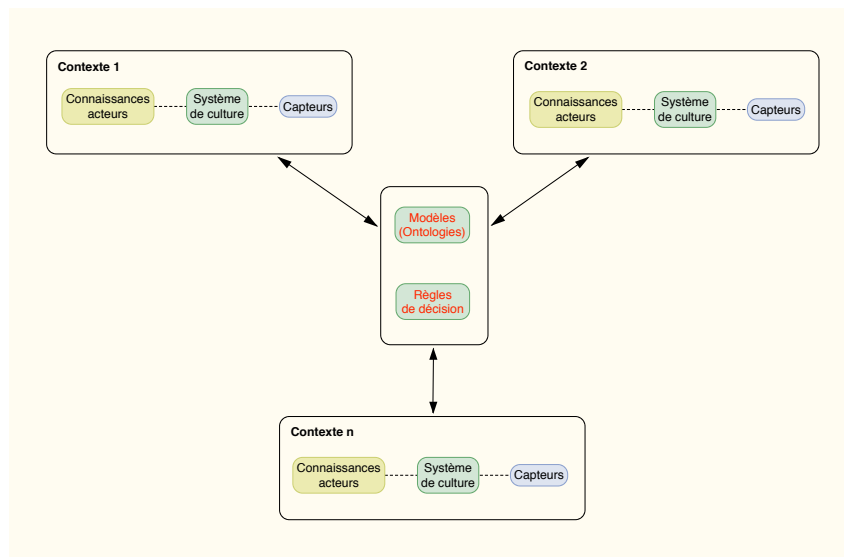


Figure 3.7 – Prise en compte du contexte dans la conception des modèles et des règles de décision

34. Système d'Information

Nous avons travaillé sur deux approches complémentaires pour décrire un domaine : une peu formelle permettant une représentation descriptive des connaissances afin de pouvoir construire des outils collaboratifs servant de support à des communauté de travail et une formelle basée sur la construction d'ontologies à partir de sources diverses permettant de créer des bases de connaissances pour les outils d'aide à la décision. Dans les deux cas, les systèmes proposés intègrent une prise en compte des contextes de mise en œuvre des connaissances afin de pouvoir les transposer.

BILAN D'ACTIVITÉ

Chapitre 1

Curriculum Vitae

"Deux choses instruisent l'homme de toute sa nature : l'instinct et l'expérience."

Blaise Pascal,
Les Pensées (Contrariétés 11)

1.1 Informations personnelles

Jean-Pierre CHANET

Ingénieur de recherche hors classe, Irstea

Directeur de l'unité de Recherche

« Technologie et Systèmes d'information pour les agrosystèmes »

Nationalité :	française
Date de naissance :	le 21 août 1967 à Clermont-Ferrand
Adresse :	Irstea, 9 av. Blaise Pascal, CS 20085, 63172 Aubière
Email :	jean-pierre.chanet@irstea.fr
Téléphone :	04 73 44 06 78

1.2 Expérience professionnelle

1.2.1 De 2003 à 2016 : ingénieur de recherche au Cemagref puis Irstea

En 2003, j'ai rejoint l'équipe COPAIN "Systèmes d'information agri-environnementaux communicants" où j'ai créé et développé la thématique réseaux de capteurs sans fil, le réseau de partenaires et différents projets sur ce thème.

En mars 2007 j'ai obtenu un doctorat en informatique sur la qualité de service dans les réseaux de capteurs sans fil et j'ai pris en charge la responsabilité de l'équipe COPAIN. L'équipe est maintenant composée de 20 personnes (10 permanents, 5 doctorants et 5 postdoctorants/CDD) travaillant sur l'ingénierie des systèmes d'information agri-environnementaux, sur les échanges de données entre systèmes et sur les réseaux de capteurs pour l'agriculture et l'environnement.

Depuis septembre 2014, j'assure la direction de l'unité de recherche TSCF "Technologies et Systèmes d'Information pour les agrosystèmes". Ce laboratoire de 80 personnes réparties sur deux sites, poursuit des recherches sur la mise en œuvre de technologies (robotique, TIC, mécanique...) au service d'une agriculture durable et économiquement performante, notamment au travers du développement d'agroéquipements intelligents.

1.2.2 De 1992 à 2002 : ingénieur d'études au Cemagref

Mes travaux de recherche ont porté sur le développement et la réalisation de plateformes technologiques mettant en œuvre la vision artificielle et l'informatique industrielle dans le secteur agroalimentaire puis le secteur agricole. J'ai été également responsable de plusieurs projets nationaux et européens. J'ai assuré l'animation d'une équipe de 6 ingénieurs/chercheurs pendant plusieurs années.

1.3 Formation

- 2007 : Doctorat en informatique, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, "Algorithme de routage coopératif à qualité de service pour des réseaux ad hoc agri-environnementaux". Directeur K.M. Hou Limos. Jury : A. Quilliot, A. Khoumsi (Rapporteur), H. Sun (Rapporteur), J. Duchène, G. Grenier, F. Vigier.
- 1993 : DEA "Electronique et Systèmes" option "Vision pour la robotique", LAS-MEA UFR Sciences Clermont-Ferrand, Directeur J. Galice.
- 1990 : Ingénieur Génie Electrique, CUST Clermont-Ferrand.
- 1987 : DEUG "Physique-Chimie" option "Electronique Electrotechnique Automatique", UFR Sciences Clermont-Ferrand.
- 1985 : Bac C, Clermont-Ferrand.

1.4 Compétences

- *Scientifiques* : réseaux de capteurs sans fil, ontologies, systèmes d'information, TIC & agriculture
- *Techniques* : Java, C, Matlab, Scilab, NS2/3, OPNET, SQL
- *Management* : animation de collectifs de recherche, gestion de projets, relations recherche/industrie, transferts, expertises de projets
- *Langue* : anglais lu, écrit, parlé

1.5 Implication dans des projets depuis 2007

1.5.1 Projets européens

Eranet ICT-Agri 2 - Coordination of ICT and Robotics in Agriculture and Related Environmental Issues

- 2014-2017
- FP7
- Coordinateur Ministère agriculture danois, 23 partenaires
- Financement Irstea : 81 000 €
- Rôle : Responsable du projet pour Irstea
- L'objectif du projet est de fédérer la recherche européenne sur la robotique et les TIC en agriculture.

Eranet ICT-Agri - Coordination of ICT and Robotics in Agriculture and Related Environmental Issues

- 2009-2014
- FP7
- Coordinateur Ministère agriculture danois, 20 partenaires
- Financement Irstea : 130 000 €
- Rôle : Chercheur
- L'objectif du projet était d'organiser la recherche européenne sur la robotique et les TIC en agriculture.

Netadded - New Technologies to Avoid Digital Division in e-Divided areas

- 2007-2009
- FP6 - Priorité Aéronautique et Espace
- Coordinateur EADS, 13 partenaires
- Financement Irstea : 50 000 €
- Rôle : Responsable de workpackage et chercheur
- L'objectif du projet était de réduire la fracture numérique en zone rurale en expérimentant des solutions réseaux hybrides (satellite / WiFi / ZigBee) pour différents types d'applications.

OTAG - Operational Management and Geodecisional Prototype to Track and Trace Agricultural Production

- 2006-2009
- FP6 - Specific Support Action FOOD
- Coordinateur Irstea, 6 partenaires
- Financement Irstea : 130 000 €

- Rôle : Responsable de workpackage et chercheur
- L'objectif du projet était de proposer des solutions de traçabilité du bétail en Amérique du sud en intégrant des données capteurs au sein d'entrepôts de données.

1.5.2 Projets nationaux

EDEN - Du capteur à l'indicateur : les Entrepôts de Données spatiales au service de l'évaluation des performances ENergétiques des entreprises agricoles

- 2012-2014
- Projet CASDAR
- Coordinateur Arvalis, 5 partenaires
- Financement Irstea : 104 000 €
- Rôle : Responsable du projet et chercheur
- L'objectif du projet, qui est la suite du projet Energie'TIC, était de développer une chaîne d'intégration de l'information, du capteur à l'indicateur pour évaluer les performances énergétiques des exploitations agricoles.

DISP'EAU - Développement d'un outil logiciel innovant d'aide à la décision pour la viticulture

- 2009-2013
- Projet FUI
- Coordinateur Société ITK, 11 partenaires
- Financement Irstea : 96 000 €
- Rôle : Chercheur
- L'objectif du projet était de développer un outil d'aide à la décision pour l'irrigation de la vigne mettant en oeuvre des systèmes d'information et des réseaux de capteurs.

DATAPULVE - SI pour le suivi des contrôles techniques des pulvérisateurs

- 2009-2011
- Projet Ministère Agriculture
- Financement Irstea : 30 000 €
- Rôle : Responsable du projet
- L'objectif du projet était de développer un système d'information pour le suivi des contrôles de pulvérisateurs et d'assurer une assistance à maîtrise d'ouvrage.

ENERGE'TIC - Evaluation fine des performances énergétiques des exploitations agricoles par l'utilisation des nouvelles techniques d'information et de communication

- 2009-2011
- Projet CASDAR
- Coordinateur ACTA, 9 partenaires
- Financement Irstea : 95 000 €
- Rôle : Responsable du projet et chercheur
- L'objectif du projet était de développer une chaîne d'intégration de l'information, du capteur à l'indicateur pour évaluer les performances énergétiques des exploitations agricoles.

GIEEA - Gestion de l'information environnementale des exploitations agricoles

- 2009-2010
- Projet CASDAR
- Coordinateur ACTA informatique, 5 partenaires
- Financement Irstea : 21 000 €
- Rôle : Responsable du projet
- L'objectif du projet était de développer des standards d'échange entre systèmes d'information d'exploitations agricoles.

SACHA - Capteurs embarqués pour la traçabilité des activités agricoles

- 2008-2010
- Projet CASDAR
- Coordinateur FR CUMA Grand Ouest, 4 partenaires
- Financement Irstea : 5 000 €
- Rôle : Responsable du projet
- L'objectif du projet était de développer une solution de traçabilité des chantiers agricoles par la mise en oeuvre de capteurs embarqués.

Capteurs pour le suivi hydrique des sols

- 2007-2009
- Projet industriel
- Financement Irstea : 50 000 €
- Rôle : Responsable du projet et chercheur
- L'objectif du projet était de développer une solution de réseau de capteurs sans fil pour le suivi hydrique des sols.

1.5.3 Projets régionaux

Projet CPER - ConnecSenS

- 2016-2020
- Projet CPER 2015-2020
- Coordinateur Irstea, 8 partenaires
- Financement Irstea : 150 000 €
- Rôle : Responsable du projet et chercheur
- L'objectif général du projet ConnecSenS est d'étudier et développer une plateforme de collecte et de mutualisation de données dédiée au domaine des recherches en environnement.

Accompagnement au développement d'une technologie par l'analyse des besoins et usages des agriculteurs par rapport à l'utilisation des TIC et des équipements agricole

- 2015
- Projet industriel
- Financement Irstea : 35 000 €
- Rôle : Responsable du projet
- L'objectif principal du projet était de déterminer les meilleures conditions nécessaires au transfert de connaissances pour le domaine des TIC afin d'atteindre le marché agricole.

Définition d'une architecture d'intégration des données issues de systèmes d'acquisition embarqués dans un entrepôt de données spatiales et design de tableaux de bord

- 2014-2015
- Projet Innovation région Auvergne
- Coordinateur Irstea, 2 partenaires
- Financement Irstea : 53 000 €
- Rôle : Responsable du projet et chercheur
- L'objectif du projet était de transférer les résultats du projet EDEN vers un partenaire industriel afin de commercialiser les solutions proposées.

Chapitre 2

Titres et travaux

"Sans imagination il ne pourrait y avoir création."

Albert Jacquard,
*Petite philosophie à l'usage
des non-philosophes*

2.1 Co-encadrements de thèses

J'ai participé à l'encadrement de sept thèses. Ces thèses s'inscrivent dans les thématiques de recherche de notre équipe centrées sur l'agriculture numérique. Elles sont venues nourrir ma thématique de recherche personnelle sur la représentation des contextes et des connaissances et leur utilisations dans les réseaux de capteurs et les systèmes d'information pour l'agriculture.

J'ai co-rédigé avec les directeurs de thèse les différents sujets, monté les dossiers de financements et organisé la constitution et la tenue des différents comités de thèse. Les étudiants ont été accueillis au sein de mon unité de recherche.

2.1.1 Thématique « Réseaux de capteurs sans fil »

- **Aurélien Jacquot** - Supervision de réseaux d'Objets Intelligents Communicants sans fil
 - Soutenue en 2010
 - Université Blaise Pascal - Informatique
 - Encadrement à 50%
 - Kun Mean Hou, Directeur de thèse
 - Jury de thèse :
 - H. Labiot, Professeur Mines Telecom Paris (rapporteur),

- A. Quilliot, Professeur Limos (Président),
- S. Servigne, MdC INSA Lyon,
- B. Tourancheau, Professeur LIG Grenoble (rapporteur),
- J.P. Chanet, IR Irstea,
- K.M. Hou, Professeur Limos.
- Publications : 2 revues et 12 conférences
- Financement : 50% Irstea et 50% Région Auvergne
- Devenir de l'étudiant : responsable recherche et développement dans une start'up sur les objets connecté en agriculture

- **Rimel Bendadouche** - Intégration de données agri-environnementales provenant d'un réseau de capteurs sans fil
 - Abandonnée en 2014. Rimel Bendadouche a souhaité mettre un terme à son doctorat pour raison personnel et est retournée dans son pays d'origine.
 - Université Blaise Pascal - Informatique
 - Encadrement à 25%
 - Kun Mean Hou, Directeur de thèse
 - Publications : 4 conférences
 - Financement : 50% Irstea et 50% Région Auvergne

- **Yibo Chen** - Routing algorithm dedicated to environmental data collection : Precision Agriculture
 - Soutenue en 2015
 - Université Blaise Pascal - Informatique
 - Encadrement à 50%
 - Kun Mean Hou, Directeur de thèse
 - Jury de thèse :
 - C. Germain,
 - H. Labiod, Professeur Mines Telecom Paris (Rapporteur),
 - E. Pissaloux, Professeur ISIR (Rapporteur),
 - A. Quilliot, Professeur Limos (Président),
 - F. Valois, Professeur CITI Lyon,
 - H. Zhou, Professeur associé Harbin Institute of Technologies,
 - J.P. Chanet, IR Irstea,
 - K.M. Hou, Professeur Limos
 - Publications : 2 revues et 6 conférences
 - Financement : CPER région Auvergne (Région+État+FEDER)
 - Devenir de l'étudiant : Chercheur à Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology (Chine)

- **Jie Sun** - L'Internet des Objets au service de l'environnement - Université Blaise Pascal
 - Soutenue prévue en 2017

- Université Blaise Pascal - Informatique
- Encadrement à 25%
- Kun Mean Hou, Directeur de thèse
- Publications : 1 revue et 2 conférences
- Financement : 50% Irstea et 50% Région Auvergne

2.1.2 Thématique « Systèmes d'information »

- **Vincent Abt** - Une approche méthodologique et de modélisation des exploitations agricoles dans une perspective d'ingénierie d'entreprise et de système d'information
 - Soutenue en 2010
 - Université Paris Dauphine - Gestion & Productique
 - Encadrement à 20%
 - M. Nakhla & H. Pierreval, Directeurs de thèse
 - Jury de thèse :
 - M. Gafsi, Professeur ENFA (Rapporteur),
 - V. Giard, Professeur Université Paris Dauphine,
 - H. Pingaud, Professeur École des Mines d'Albi Carmaux (Rapporteur),
 - F. Vernadat, Professeur Université Paul Verlaine de Metz (Président),
 - P. Vissac, Directeur scientifique, technique et international, ACTA,
 - J.P. Chanet, IR Irstea,
 - M. Nakhla, Directeur de Recherche Mines ParisTech,
 - H. Pierreval, Professeur IFMA.
 - Publications : 5 revues, 13 conférences et 2 chapitres d'ouvrage
 - Financement : personnel permanent Irstea
 - Devenir de l'étudiant : Chef de bureau au ministère de l'agriculture

- **Vincent Soullignac** - Système informatique de capitalisation de connaissances et d'innovation pour la conception et le pilotage de systèmes de culture durables - Université Blaise Pascal - Informatique, directeurs de thèse : JL Paris & JL Ermine, soutenue en 2012
 - Soutenue en 2012
 - Université Blaise Pascal - Informatique
 - Encadrement à 30%
 - JL Paris & JL Ermine, Directeurs de thèse
 - Jury de thèse :
 - M. Aldonondo, Professeur École des Mines d'Albi (Président),
 - J. Le Cardinal, Professeur Ecole Centrale Paris (Rapporteur),
 - O. Device, MdC IFMA,
 - L. Geneste, Professeur ENIT Tarbes (Rapporteur),
 - J.M. Meynard, Directeur de recherche INRA,
 - J.P. Chanet, IR Irstea,
 - J.L. Ermine, Professeur Institut Telecom Paris,

- J.L. Paris, Professeur IFMA.
- Publications : 4 revues et 10 conférences
- Financement : personnel permanent Irstea
- Devenir de l'étudiant : Chercheur Irstea

- **Fabien Amarger** - Vers un système intelligent de capitalisation de connaissances pour l'agriculture durable : Construction d'ontologies agricoles par transformation de sources existantes et interrogation intelligente de données - Université Paul Sabatier de Toulouse - Informatique, directeur de thèse : O Haemmerlé, soutenue en 2015
 - Soutenue en 2015
 - Université Paul Sabatier de Toulouse - Informatique
 - Encadrement à 25%
 - O Haemmerlé, Directeur de thèse
 - Jury de thèse :
 - M.H. Abel, Professeur UTC (Président),
 - J.P. Chevalet, MCF HDR Université Pierre Mendès France de Grenoble,
 - J. Dibie-Barthélemy, Professeur AgroParisTech (Rapporteur)
 - C. Reynaud, Professeur Université Paris-Sud (Rapporteur)
 - J.P. Chanet, IR Irstea,
 - O. Haemmerlé, Professeur Université Toulouse,
 - N. Hernandez, MCF Université Toulouse,
 - C. Roussey, CR Irstea.
 - Publications : 2 revues et 10 conférences
 - Financement : 50% Irstea + 50% CNRS
 - Devenir de l'étudiant : Post-doctorant à l'IRIT (Toulouse)

2.2 Encadrement d'étudiants

- **J.L. Coudeyras - 1993** - Étude de faisabilité d'un système d'identification des cuirs et peaux par perforations et relecture optique. 3ème année CUST Génie Electrique Clermont-Fd.
- **C. Thuin - 1997** - Identification des carcasses de porc par vision artificielle. 3ème année Ecole des Mines d'Ales option Reconnaissance de Forme et Intelligence Artificielle.
- **O. Lecointe - 1998** - Développement d'une plate-forme expérimentale de robotique mobile. 3ème année école d'ingénieur ENSIETA Brest.
- **F.X. Bouette - 1999** - Mise au point d'un banc de mesure par vision artificielle de particules micrométriques. 3ème année école d'ingénieur ISIMA - Clermont-Fd.
- **D. Auclair - 1999** - Détection et quantification de traceurs fluorescents sur les déchets d'abattoir. 3ème année CUST Génie Electrique Clermont-Fd.
- **W. Valette - 2001** - Validation en conditions industrielles d'une méthode d'iden-

- tification et de marquage par traceur fluorescent - DUT Génie Biologique, Aurillac.
- **M. Chaput - 2003** - Asservissement d'antenne pour réseau étendu dans fil - M2 Mécatronique, Clermont-Ferrand.
- **F. Maertens - 2004 et 2005** - Réalisation d'un relais ad hoc bas coût. Formation ingénieur par apprentissage ESTE (Paris), spécialité informatique.
- **R. Verdier - 2005** - liaison tracteur-outils CAN-ISOBUS. 2ème année école d'ingénieur ISIMA - Clermont-Fd.
- **M. Bruneau - 2006** - Système de Commande à Distance pour Pivot d'Irrigation. 3ème année école d'ingénieur ENSIL - Limoge.
- **J. He - 2007** - Étude de faisabilité sur l'utilisation des technologies de communication sans fil dans le cadre de la sécurité des machines agricoles. M2 Automatique, robotique, traitement du signal université Blaise Pascal Clermont-Fd.
- **M. Zimmermann - 2010** - Workflow XML pour l'intéropérabilité des données. 3ème année école d'ingénieur ISIMA - Clermont-Fd.
- **Q. Lariviere - 2011** - Evaluation de l'adaptabilité de l'analyse multidimensionnelle au cadre du plan Ecophyto 2018 : proposition de cubes de données à partir d'un entrepôt de données. ENITA Bordeaux.
- **M. Velay - 2012** - Développement d'une solution d'acquisition automatiques de données. M1 Mecatronique Clermont-Fd.

2.3 Participations à des jurys de thèse

- **Gil De Sousa - 2008** - Étude en vue de la réalisation de logiciels bas niveau dédiés aux réseaux de capteurs sans fil : microsystèmes de fichiers - Université Blaise Pascal - Informatique, directeur de thèse : KM Hou
- **Abdelaziz Amamra - 2008** - Techniques d'estimation de la bande passante disponible de réseaux sans fil - Université Blaise Pascal - Informatique, directeur de thèse : KM Hou
- **Messaoud Kara - 2009** - Réseau de capteurs sans fil : étude en vue de la réalisation d'un récepteur GPS différentiel à faible coût - Université Blaise Pascal - Informatique, directeur de thèse : KM Hou
- **Xunxing Diao - 2011** - A resource-aware embedded communication system for highly dynamic networks - Université Blaise Pascal - Informatique, directeur de thèse : KM Hou
- **Hong-Ling Shi - 2014** - Development of an energy efficient, robust and modular multicore Wireless sensor network - Université Blaise Pascal - Informatique, directeur de thèse : KM Hou
- **Liu Xing - 2014** - Hybrid Real-time Operating System Integrated with Middleware for Resource-constrained Wireless Sensor Nodes - Université Blaise Pascal - Informatique, directeur de thèse : KM Hou

2.4 Participations à des réseaux de recherche et de développement

- Représentant français au « governing board » de l'EFITA - European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment (2013-).
- Co-animateur de l'action prospective « Capteurs » du GDR MAGIS (Méthodes et Applications pour la Géomatique et l'Information Spatiale) (2013-2015).
- Co-animateur de l'axe transversal « instrumentation » du projet de site inter laboratoires clermontois, en charge plus particulièrement de la thématique réseaux de capteurs (2013-).
- Président de l'Association Francophone d'Information en Agriculture qui a pour objectif de diffuser les résultats de la recherche en Technologie de l'Information et de la Communication vers le secteur agricole (2013-)
- Membre du Réseau Mixte Technologique (RMT) Modelia - Modélisation informatique pour l'agriculture (2014-)
- Membre du Réseau Mixte Technologique (RMT) Agroética - AGROéquipement et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'agro écologie (2015-)

2.5 Membre de comités scientifiques et éditoriaux

- Membre du comité éditorial de la revue « International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems » (IJAEIS) (2010-)
- Membre des comités scientifiques des conférences suivantes :
 - AEIDSS - International Workshop on Agricultural and Environmental Information and Decision Support Systems (2013, 2014)
 - HAICTA - International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (2013, 2015)
 - NICST - New Information Communication Science and Technology for Sustainable Development France-China international workshop (2013, 2014)
 - SAGEO - Conférence internationale de géomatique et d'analyse spatiale (2014, 2015, 2016).
 - SIDE - Workshop on Information Systems for Environment (2008, 2009, 2010)
 - Smart-AgriMatics - The future use of ICT and robotics in agriculture and food business (2014)
 - WSN Workshop - International Wireless Sensor Network Workshop (2008, 2009, 2011)
- Membre du Comité Scientifique et Technique (CST) de la plateforme ECOPHYTO-PIC du Ministère de l'agriculture (2012-)
- Membre du Comité d'Appui Scientifique et Technique (CAST) du réseau DEPHY du plan ECOPHYTO (2012-)

Je suis sollicité pour relire des articles (4 à 5 par an) pour différents journaux (Journal

of Network, CIGR Journal, Computer and Electronics in Agriculture, Journal of Field Robotic, International Journal of Operational Research, Ecological Informatics Journal, IEEE Internet of Things Journal) et conférences (IEEE Africon, NTMS, INFORSID, Ageng, EFITA, SAGEO).

2.6 Membre de comités d'organisation

- Co-président du comité d'organisation EDA 2011 - Journées francophones sur les entrepôts de données et l'analyse en ligne
- Membre du comité d'organisation des journées de l'AFIA depuis 2013 (2 à 3 journées par an)
- Président du comité d'organisation ECOTECHS 2013 - Colloque sur les données agri-environnementales
- Membre du comité d'organisation IC 2014 - Conférence Ingénierie des Connaissances
- Membre du comité d'organisation ECOTECHS 2015 - Technologies d'épandage dans la fertilisation : Implications actuelles et futures
- Membre du comité d'organisation MCG 2016 - International conference on Machine Control & Guidance
- Co-président du comité d'organisation EFITA 2017 - International conference of European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment
- Membre du comité d'organisation ECPLF 2017 - European Conference on Precision Livestock Farming

2.7 Expertises

- Expert pour les concours d'innovation du SIMA et du SITEVI (2003-)
- Expert dans le cadre du plan ECOPHYTO auprès du Ministère de l'agriculture (2008-)
- Expert pour des projets de l'ANR et CAS DAR du Ministère de l'agriculture (2010-)

Chapitre 3

Liste de publications

"Avant donc que d'écrire, apprenez à penser."
Nicolas Boileau, *L'art poétique*

Depuis 2003, mes travaux de recherche sur les réseaux de capteurs sans fil et les systèmes d'information en agriculture ont donné lieu à des publications de différentes natures qui sont détaillées dans les sections suivantes. Le tableau 3.1 ci-dessous est une synthèse suivant les différents types de valorisation.

Type de publications (section)	Nombre
Articles de revues à comité de lecture (3.1)	19
Articles de revues sans comité de lecture (3.2)	5
Chapitres d'ouvrages scientifiques (3.3)	4
Chapitres d'ouvrages techniques (3.4)	2
Communications internationales avec actes (3.5)	54
Communications nationales avec actes (3.6)	18
Posters (3.7)	8
Communications sans actes (3.8)	5
Conférences invités (3.9)	7
Rapports (3.10)	15

Table 3.1 – Synthèse des publications depuis 2003

3.1 Articles de revues à comité de lecture

1. Y. Chen, J. P. Chanet, K. M. Hou, H. Shi, et G. De Sousa, "A Scalable Context-Aware Objective Function (SCAOF) of Routing Protocol for Agricultural Low-Power and Lossy Networks (RPAL)", *Sensors*, vol. 15, n° 8, p. 19507-19540, 2015.

2. A. Wermeille, J. P. Chanet, M. Berducat, et D. Didelot, "Stakeholders involvement on establishing public-private partnerships through innovation in agricultural mechanization : A case study", *International Journal of Agricultural Management*, vol. 4, n ° 2, p. 68-71, 2015.
3. F. Amarger, J. P. Chanet, O. Haemmerlé, N. Hernandez, et C. Roussey, "Construction d'une ontologie par transformation de systèmes d'organisation des connaissances et évaluation de la confiance", *Ingénierie des Systèmes d'Information*, vol. 20, n ° 3, p. 37-61, 2015.
4. S. Bimonte, K. Boulil, M. Pradel, G. André, et J. P. Chanet, "Analyse des indicateurs énergétiques des entreprises agricoles. Une approche Spatial OLAP", *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 24, n ° 1, p. 37-65, 2014.
5. H. Mahboubi, S. Bimonte, G. Deffuant, J. P. Chanet, et F. Pinet, "Semi-automatic design of spatial data cubes from simulation model results", *International Journal of Data Warehousing and Mining*, vol. 9, n ° 1, p. 70-95, 2013.
6. Y. Chen, J. P. Chanet, K. M. Hou, et H. L. Shi, "Extending the RPL protocol to Agricultural Low-power and Lossy Network (A-LLNs)", *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, vol. 4, n ° 4, p. 25-47, 2013.
7. K. Boulil, F. Pinet, S. Bimonte, N. Carluet, C. Lauvernet, B. Cheviron, A. Miralles, et J. P. Chanet, "Guaranteeing the quality of multidimensional analysis in data warehouses of simulation results : application to pesticide transfer data produced by the MACRO Model", *Ecological Informatics*, vol. 16, p. 41-52, 2013.
8. S. Bimonte, M. Pradel, D. Boffety, A. Tailleur, G. André, R. Bzikha, et J. P. Chanet, "A new sensor-based Spatial OLAP architecture centered on an agricultural farm energy-used diagnosis tool", *International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST)*, vol. 5, n ° 4, p. 1-20, 2013.
9. V. Soullignac, J. L. Ermine, J. L. Paris, O. Devise, et J. P. Chanet, "A knowledge management system for exchanging and creating knowledge in organic farming", *Electronic Journal of Knowledge Management (EJKM)*, vol. 10, n ° 2, p. 163-182, 2012.
10. P. Namour, P. Breil, Y. Clément, G. De Sousa, J. P. Chanet, et P. Lanteri, "The Water Framework Directive requires new tools for a better water quality monitoring", *E-Water*, n ° 1, p. 12, 2012.
11. C. Roussey, J. P. Chanet, V. Soullignac, et S. Bernard, "Les ontologies en agriculture", *Ingénierie des Systèmes d'Information*, vol. 16, n ° 3, p. 55-84, 2011.
12. F. Pinet, M. A. Kang, K. Boulil, S. Bimonte, G. De Sousa, C. Roussey, M. Schneider, et J. P. Chanet, "Using OCL to model constraints in data warehouses", *International Journal of Technology Diffusion*, vol. 2, n ° 3, p. 11, 2011.
13. H. Mahboubi, T. Faure, S. Bimonte, G. Deffuant, J. P. Chanet, et F. Pinet, "A multidimensional model for data warehouses of simulation results", *International*

- Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS), vol. 1, n° 2, p. 1-19, 2010.
14. S. Bimonte, M. Schneider, F. Pinet, et J. P. Chanet, "Overlay-Drill across : a new drill across operator for spatial data warehouses", *Journal of Decision Systems*, vol. 19, n° 3, p. 261-290, 2010.
 15. K. M. Hou, J. J. Li, H. Y. Zhou, J. P. Chanet, J. Hao, G. De Sousa, C. De Vault, A. Amamra, M. Kara, et B. Doumia, "Cooperative Inter-vehicle communication protocol dedicated to intelligent transport systems (CIVIC : Communication Inter Véhicule Intelligente et Coopérative)", *Journal of Harbin Institute of Technology*, vol. 39, p. 145-152, 2007.
 16. K. M. Hou, G. De Sousa, H. Y. Zhou, J. P. Chanet, M. Kara, A. Amamra, C. De Vault, J. J. Li, et A. Jacquot, "LiveNode : LIMOS versatile embedded wireless sensor node", *Journal of Harbin Institute of Technology*, vol. 39, p. 140-144, 2007.
 17. G. De Sousa, H. Y. Zhou, K. M. Hou, C. De Vault, et J. P. Chanet, "Adaptive system for wireless sensor networks applications", *Journal of Harbin Institute of Technology*, vol. 39, p. 154-157, 2007.
 18. F. Vigier, J. P. Chanet, F. Pinet, et D. Boffety, "Mobilisation et gestion des informations liées aux pratiques agricoles : systèmes d'information à référence spatiale partagés et moyens de communication interopérables", *Comptes-Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 91, n° 3, p. 8, 2005.
 19. J. P. Chanet, D. Boffety, J. F. Devaux, K. M. Hou, et S. Bouazdi, "Communication et équipements agricoles - Du réseau embarqué au réseau ad hoc sans fil pour l'intégration des équipements agricoles dans des systèmes d'information étendus", *Ingénieries - E A T*, n° Spécial "Technologies pour les agrosystèmes durables", p. 177-190, 2003.

3.2 Articles de revues sans comité de lecture

1. J. P. Chanet et D. Boffety, "Le numérique au champ et au volant", *Agro Mag*, vol. 37, p. 16-18, 2015.
2. J. P. Chanet, "Communication et échange d'information en agriculture aux congrès CIGR et ATOE de Bonn en septembre 2006", *Note d'information CETIM*, p. 6, 2006.
3. M. Berducat, C. Cariou, G. Rabatel, C. Guizard, J. M. Roger, R. Rouveure, D. Boffety, et J. P. Chanet, "Quoi de neuf en R&D pour le machinisme agricole : guidage, capteurs, communication", *Note de Veille Machinisme Agricole CETIM*, p. 8, 2006.
4. D. Boffety, J. P. Chanet, et M. Berducat, "Les applications de communication sans fil dans le machinisme agricole pour l'échange des données, le pilotage de certaines machines et les fonctions de sécurité", *Note technique CETIM*, p. 11, 2005.

5. M. Berducat, P. Clavel, et J. P. Chanet, "Les applications de communication sans fil dans le machinisme agricole à l'occasion du salon international AGRITECHNICA Hanovre, 8-12 novembre 2005", Note technique CETIM, p. 16, 2005.

3.3 Chapitres d'ouvrages scientifiques

1. M. A. Kang, F. Pinet, S. Bimonte, G. De Sousa, et J. P. Chanet, « Use of Sensor Data Warehouse for Soil Moisture Analysis », in *Automated Enterprise Systems for Maximizing Business Performance*, P. Papajorgji, F. Pinet, A. Guimaraes, et J. Papathanasiou, Éd. IGI-Global, 2015, p. 43-58.
2. M. Visoli, S. Bimonte, S. Ternès, F. Pinet, et J. P. Chanet, "Towards a spatial decision support system for animal traceability", in *Computational methods applied to agricultural research : advances and applications*, H. A. do Prado, A. J. Barreto Luiz, et H. C. Fiho, Éd. IGI Global, 2011, p. 389-411.
3. A. Amamra, K. M. Hou, et J. P. Chanet, "Evaluation of the performance of the SLoPS : available bandwidth estimation technique in IEEE 802.11b wireless networks", in *New Technologies, Mobility and Security*, H. Labiod et M. Badra, Éd. Springer, 2007, p. 123-132.
4. H. Y. Zhou, K. M. Hou, J. Ponsonaille, L. Gineste, J. Coudon, G. De Sousa, C. De Vault, J. J. Li, P. Chainais, R. Aufrere, A. Amamra, et J. P. Chanet, "Remote continuous cardiac arrhythmias detection and monitoring", in *Transformation of health care with information technologies*, M. Duplaga, K. Zielinski, et D. Ingram, Éd. IOS Press, 2004, p. 112-120.

3.4 Chapitres d'ouvrages techniques

1. M. Visoli, S. Ternes, J. P. Chanet, F. Pinet, S. Bernard, G. De Sousa, et A. Miralles, "OTAG information system", in *New tools for precision livestock management*, E. Ruiz, Éd. Montevideo, Uruguay : Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) - Procisur, 2009, p. 28-31.
2. M. Visoli, S. Ternès, S. Bimonte, F. Pinet, et J. P. Chanet, "Towards a spatial decision support system for animal traceability", in *New tools for precision livestock management*, E. Ruiz, Éd. Montevideo, Uruguay, URY : Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) - Procisur, 2009, p. 38-41.

3.5 Communications avec actes, colloques internationaux

1. F. Amarger, J. P. Chanet, H. Haemmerle, N. Hernandez, and C. Roussey, "Dealing with incompatibilities during a knowledge bases fusion process", In *Graph-*

- Based Representation and Reasoning - 22nd International Conference on Conceptual Structures, ICCS 2016, Annecy, France, 2016.
2. F. Amarger, J. P. Chanet, H. Haemmerle, N. Hernandez, and C. Roussey, "Knowledge engineering method based on consensual knowledge and trust computation : The MUSCKA system", In Graph-Based Representation and Reasoning - 22nd International Conference on Conceptual Structures, ICCS 2016, Annecy, France, 2016.
 3. J. Sun, G. De Sousa, C. Roussey, J. P. Chanet, F. Pinet et K. M. Hou, "A New Formalisation for Wireless Sensor Network Adaptive Context-aware System : application to an environmental use case", in SENSORCOMM 2016, Nice, FRA, 2016.
 4. J. Wang, Y.-B. Chen, et J.-P. Chanet, "An Integrated Survey in Plant Disease Detection for Precision Agriculture using Image Processing and Wireless Multimedia Sensor Network", in Internatinal Conference on Advanced in Computer, Electrical and Electronic Engineering (ICACEEE 2014), Paris, FRA, 2014.
 5. C. Roussey, S. Bernard, G. André, O. Corcho, G. De Sousa, D. Boffety, et J.-P. Chanet, "Weather Station Data Publication at Irstea : An implementation report", présenté à 7th International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN 2014) in conjunction with the 13th International Semantic Web Conference (ISWC 2014), Rida del Garda, ITA, 2014, p. 16.
 6. Y. Chen, J. Chanet, K.-M. Hou, et P. Zhou, "A context-aware tool-set for routing-targeted mutual configuration and optimization of LLNs through bridging virtual and physical worlds", in NICST 2014, New Information Communication Science and Technology for Sustainable Development : France-China International Workshop, Wei Hai, China, 2014.
 7. S. Bimonte, J. P. Chanet, J. Capdeville, et Y. Lefrileux, "Energetic assessment of dairy activities using OLAP systems", in International conference on agricultural engineering, AGENG'2014, 6-7 Jul., Zurich, CH, 2014, p. 10.
 8. F. Amarger, J. P. Chanet, O. Haemmerlé, N. Hernandez, et C. Roussey, "SKOS Sources Transformations for Ontology Engineering : Agronomical taxonomy use case", présenté à Metadata and Semantics Research Conference (MTSR 2014), Karlsruhe, DEU, 2014, vol. 478, p. 314-328.
 9. A. Wermeille, J. P. Chanet, M. Berducat, et D. Didelot, "Innovation in ICT for agriculture : Example of an e-services portal for the reduction of pesticides", in EFITA 2013, 23-27 June, Turin, Italia, 2013, p. 8.
 10. A. Wermeille, M. Berducat, J. P. Chanet, et D. Didelot, "Innovation in agricultural machinery : Analysis of two examples for the reduction of pesticides", in CIOSTA XXXV 03-07 July, Billund, Denmark, 2013, p. 8.
 11. B. Tian, K. M. Hou, H. Shi, X. Liu, X. Diao, J. J. Li, Y. Chen, et J. P. Chanet, "Application of modified RPL under VANET-WSN communication architecture",

- in 5th IEEE International Conference on Computational and Information Sciences (ICCIS 2013), 21-23 June, Shiyan, China, 2013, p. 4.
12. C. Roussey, J. P. Chanet, V. Cellier, et F. Amarger, "Agronomic Taxon", in 2nd international Workshop on Open Data (WOD 2013), 03/06/2013, Paris, France, 2013, p. 4.
 13. K. El Gholami, N. Elkamoun, K. M. Hou, Y. Chen, J. P. Chanet, et J. J. Li, "A new WPAN Model for NS-3 simulator", in NICST'2103 New Information Communication Science and Technology for Sustainable Development : France-China International Workshop, 18-20 Sept., Clermont-Ferrand, France, 2013, p. 8.
 14. K. Dang, H. Sun, J. P. Chanet, J. Garcia-Vidal, J. M. Barcelo-Ordinas, H. L. Shi, et K. M. Hou, "Wireless multimedia sensor network for plant disease detections", in NICST'2103 New Information Communication Science and Technology for Sustainable Development : France-China International Workshop, 18-20 Sept., Clermont-Ferrand, France, 2013, p. 6.
 15. Y. Chen, K. M. Hou, J. P. Chanet, et K. El Gholami, "A RPL based adaptive and scalable data-collection protocol module for NS-3 simulation platform", in NICST 2103 New Information Communication Science and Technology for Sustainable Development : France-China International Workshop , 18-20 Sept., Clermont-Ferrand, France, 2013, p. 8.
 16. J. M. Barcelo-Ordinas, J. P. Chanet, K. M. Hou, et J. Garcia-Vidal, "A survey of wireless sensor technologies applied to precision agriculture", in 9th ECPA conference, 07-11 July, Lleida, Spain, 2013, p. 8.
 17. V. Soullignac, E. Lambert, C. Roussey, J. P. Chanet, J. L. Ermine, J. L. Paris, et O. Devise, "A knowledge server for sustainable agriculture : Main computing features", in 8th International Conference on Web Information Systems and Technologies , 18-21 April, Porto , Portugal, 2012, p. 6.
 18. D. Deurveilher, F. Chiroleu, M. Chanet, J. P. Chanet, et D. Boffety, "ICT for traceability of sugarcane harvesting operations in small farms", in CIGR-Ageng 2012. International Conference on Agricultural Engineering , 08-12 July, Valencia, Spain, 2012, p. 6.
 19. Y. Chen, J. P. Chanet, et K. M. Hou, "RPL Routing Protocol a case study : Precision agriculture", in First China-France Workshop on Future Computing Technology (CF-WoFUCT 2012), 16-17 Feb., Harbin, China, 2012, p. 6.
 20. S. Bimonte, K. Boulil, J. P. Chanet, et M. Pradel, "Definition and analysis of new agricultural farm energetic indicators using spatial OLAP", in International Conference on Geographical Analysis, Urban Modeling, Spatial Statistics, 18-20 May, Salvador de Bahia, Brazil, 2012, p. 14.
 21. R. Bendadouche, C. Roussey, G. De Sousa, J. P. Chanet, et K. M. Hou, "Extension of the Semantic Sensor Network Ontology for Wireless Sensor Networks : The Stimulus-WSNnode-Communication Pattern", in 5th International Workshop on

- Semantic Sensor Networks in conjunction with the 11th International Semantic Web Conference (ISWC), 12/11/2012, Boston, USA, 2012, p. 16.
22. V. Soullignac, J. L. Ermine, J. L. Paris, O. Devise, et J. P. Chanet, "A knowledge management system for exchanging and creating knowledge in organic farming", in 8th International Conference on Intellectual Capital, Knowledge Management & Organisational Learning ICICKM 2011, 27-28 Sept., Bangkok, Thailand, 2011, p. 14.
 23. V. Soullignac, J. L. Ermine, J. L. Paris, O. Devise, et J. P. Chanet, "Gestion informatisée des connaissances pour une agriculture durable", in 3ème Conférence Francophone Gestion des Connaissances, Société et Organisations (GECSO 2010), 27-28 may, Strasbourg, FRA, 2010, p. 23.
 24. C. Roussey, V. Soullignac, J. C. Champomier, V. Abt, et J. P. Chanet, "Ontologies in Agriculture", in AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering, 06-08 Sept., Clermont-Ferrand, France, 2010.
 25. A. Jacquot, J. P. Chanet, K. M. Hou, G. De Sousa, et A. Monier, "A new management method for wireless sensor networks", in 9th IEEE IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop, 23-25 June, Juan les Pins, France, 2010, p. 9.
 26. G. De Sousa, S. Grimbuhler, J. P. Chanet, et J. C. Champomier, "An information system dedicated to pesticides users security", in AgEng 2010 : International Conference on Agricultural Engineering, 06-08 Sept., Clermont Ferrand, France, 2010, p. 6.
 27. G. De Sousa, J. P. Chanet, A. Jacquot, D. Boffety, G. André, et K. M. Hou, "Data collection and management solution for wireless sensor networks", in AgEng 2010 : International Conference on Agricultural Engineering, 06-08 Sept., Clermont Ferrand, France, 2010, p. 6.
 28. M. Visoli, S. Ternès, F. Pinet, J. P. Chanet, A. Miralles, S. Bernard, et G. De Sousa, "Computational architecture of OTAG project", in EFITA 2009, 06-08 July, Wageningen, NLD, 2009, p. 165-172.
 29. M. Visoli, J. P. Chanet, F. Pinet, et S. Bimonte, "Uso de trajetorias na rastreabilidade bovina", in SBIAgro 2009, 21-25 Sept., Viçosa, BRA, 2009, p. 5.
 30. V. Soullignac, J. P. Chanet, J. L. Paris, O. Devise, et N. Gondran, "Knowledge management and innovative design : state of the art", in MITIP 2009, 11th International Conference on the Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises, 15-16 Oct., Bergamo, Italia, 2009, p. 361-369.
 31. A. Jacquot, J. P. Chanet, K. M. Hou, X. Diao, et J. J. Li, "LiveNCM : A new wireless management tool", in IEEE AFRICON 2009, 23-25 Sept., Nairobi, Kenya, 2009, p. 6.

32. M. Kara, K. M. Hou, J. P. Chanet, H. Y. Zhou, M. A. Kang, et F. Pinet, "Low cost differential GPS receivers (LCD-GPS) : a local cooperative differential GPS solution", in 7ème Conférence Internationale sur les NOuvelles TEchnologies de la REpartition (NOTERE'07), 4-8 juin, Marrakech, Morocco, 2007, p. 6.
33. A. Jacquot, J. P. Chanet, K. M. Hou, X. Diao, et D. Boffety, "Issue of wireless sensor network management in agri-environmental applications", in EFITA 2007, 2-5 July, Glasgow, United Kingdom, 2007, p. 2.
34. K. M. Hou, G. De Sousa, J. P. Chanet, H. Y. Zhou, M. Kara, A. Amamra, X. Diao, C. De Vault, J. J. Li, et A. Jacquot, "LiveNode : LIMOS versatile embedded wireless sensor node", in Workshop International sur Les Réseaux de Capteurs sans Fil en conjonction avec la 7ème Conférence Internationale sur les NOuvelles TEchnologies de la REpartition (NOTERE), 4 juin, Marrakech, Morocco, 2007, p. 5.
35. G. De Sousa, H. Y. Zhou, K. M. Hou, C. De Vault, et J. P. Chanet, "LiveFile : a compact and interrogative system for data collection", in Workshop International sur Les Réseaux de Capteurs sans Fil en conjonction avec la 7ème Conférence Internationale sur les NOuvelles TEchnologies de la REpartition (NOTERE), 4 juin, Marrakech, Morocco, 2007, p. 6.
36. J. P. Chanet, K. M. Hou, T. Humbert, P. Rameau, G. De Sousa, et D. Boffety, "Des antennes directives longue portée pour les réseaux de capteurs sans fil", in Workshop International sur Les Réseaux de Capteurs sans Fil en conjonction avec la 7ème Conférence Internationale sur les NOuvelles TEchnologies de la REpartition (NOTERE), 4 juin, Marrakech, Morocco, 2007, p. 5.
37. D. Boffety, J. P. Chanet, G. André, et F. Vigier, "Information and communication technologies for irrigation management", in EFITA / WCCA 2007, 2-5 July 2007, Glasgow, United Kingdom, 2007, p. 6.
38. A. Amamra, K. M. Hou, et J. P. Chanet, "Evaluation of the performance of the SLoPS : available bandwidth estimation technique in IEEE 802.11b wireless networks", in International Conference on New Technologies, Mobility and Security, 2-4 mai, Paris, France, 2007, p. 12.
39. H. Y. Zhou, K. M. Hou, J. P. Chanet, C. De Vault, et G. De Sousa, "LIMOS : a tiny real-time micro-kernel for wireless objects", in 2nd IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WICOM), 22-24 Sept., Wuhan, China, 2006, p. 4.
40. H. Y. Zhou, K. M. Hou, J. P. Chanet, C. De Vault, et G. De Sousa, "A novel hybrid operating system dedicated to wireless sensor network", in International Conference on Wireless, Mobile & Multimedia Networks (ICWMN), 6-9 Nov., Hangzhou, China, 2006, p. 4.
41. H. Y. Zhou, G. De Sousa, J. P. Chanet, K. M. Hou, J. J. Li, C. De Vault, et K. Messaoud, "An intelligent wireless bus-station system dedicated to disabled,

- wheelchair and blind passengers", in International Conference on Wireless, Mobile & Multimedia Networks (ICWMN), 6-9 Nov., Hangzhou, China, 2006, p. 4.
42. M. Kara, K. M. Hou, J. P. Chanet, H. Y. Zhou, M. A. Kang, et F. Pinet, "Low cost differential GPS receivers (LCD-GPS) : urban vehicle tracking", in 5th IEEE International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS), 06-08 Dec., Cuiaba, Brazil, 2006, p. 6.
 43. G. De Sousa, H. Y. Zhou, K. M. Hou, J. P. Chanet, et C. De Vault, "LEC : an operating system routing protocol integrated for wireless sensor", in 5th IEEE International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS), 06-08 Dec., Cuiaba, Brazil, 2006, p. 2.
 44. J. P. Chanet, K. M. Hou, A. Amamra, G. De Sousa, et J. J. Li, "A non invasive MANET bandwidth estimator for quality of service : NIMBE", in 5th IEEE International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS), 06-08 Dec., Cuiaba, Brazil, 2006, p. 4.
 45. J. P. Chanet, D. Boffety, G. André, et F. Vigier, "Ad Hoc network for agriculture : irrigation management", in XVI CIGR World Congress, 3-7 Sept., Bonn, Germany, 2006, p. 6.
 46. E. Barbe, D. Boffety, J. P. Chanet, G. André, V. Abt, et F. Vigier, "Implementation of mixed communication solutions, satellite and Wi-Fi, applied to agriculture. Experiments conducted in the French agricultural sector within the framework of the European project Twister", in 4th World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources (WCCA 2006), 24-26 July, Orlando, USA, 2006, p. 217-222.
 47. A. Amamra, K. M. Hou, et J. P. Chanet, "Wireless available bandwidth estimation : train of packet pair", in 5th IEEE International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS), 06-08 Dec., Cuiaba, Brazil, 2006, p. 6.
 48. J. Hao, K. M. Hou, J. J. Li, J. P. Chanet, C. De Vault, H. Y. Zhou, et G. De Sousa, "The capacity and packets delivery of MANET On Road : MANETOR", in Global Mobil Congress, 10-12 oct., ChongQing, China, 2005, p. 6.
 49. J. Hao, K. M. Hou, J. J. Li, J. P. Chanet, C. De Vault, H. Y. Zhou, et G. De Sousa, "The capacity and packets delivery of MANET On Road : MANETOR", in International Workshop on Wireless Ad-hoc Networks (IWWAN), Londres, United Kingdom, 2005, p. 6.
 50. J. Hao, K. M. Hou, J. J. Li, J. P. Chanet, C. De Vault, H. Y. Zhou, et G. De Sousa, "Capacity and packets delivery analysis of MANET On Road", in International Conference on Wireless Networks, ICWN05, 27-30 June, Las Vegas, USA, 2005, p. 7.
 51. J. P. Chanet, D. Boffety, G. André, T. Humbert, P. Rameau, A. Amamra, G. De Sousa, E. Piron, K. M. Hou, et F. Vigier, "Wireless Technologies for Field Data Acquisition", in EFITA 2005, 25-28 July, Vila Real, Portugal, 2005, p. 6.

52. M. A. Kang, F. Pinet, M. Schneider, J. P. Chanet, et F. Vigier, "How to design geographic database? Specific UML profile and spatial OCL applied to wireless Ad Hoc networks", in 7th Conference on Geographic Information Science (AGILE'2004), 29 April-1 May, Heraklion, Greece, 2004, p. 289-299.
53. J. P. Chanet, H. Jaudoin, M. Duboisset, et F. Pinet, "Information systems technologies for sustainable management : a global approach", in AGENG'2004 Information Systems Technologies for Sustainable Management : a Global Approach, 11-15 Sept., Leuven, Belgium, 2004, p. 8.
54. A. Amamra, R. Aufrere, J. P. Chanet, G. De Sousa, J. J. Li, H. Y. Zhou, et K. M. Hou, "A New Adaptive Zone filter to estimate rtt in Manet", in ACIT 2004, Constantine, Algeria, 2004, p. 7.

3.6 Communications avec actes, colloques nationaux

1. F. Amarger, J. P. Chanet, R. Guillaume, O. Haemmerlé, N. Hernandez, et C. Roussey, "Détection de consensus entre sources et calcul de confiance fondé sur l'intégrale de Choquet", in 27es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances IC 2016, Montpellier, FRA, 2016.
2. F. Amarger, J. P. Chanet, O. Haemmerlé, N. Hernandez, et C. Roussey, "Traitement des incompatibilités de candidats issus d'alignements entre plusieurs bases de connaissances", in 26es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances IC 2015, Rennes, FRA, 2015, p. 203-208.
3. S. Bimonte, J. P. Chanet, J. Capdeville, A. Tailleur, et M. Luciano, "Une étude sur l'efficacité des méthodes de conception et d'implémentation pour les Entrepôts de Données par une méthodologie "requirement-based" : cas d'étude de la consommation d'énergie en agriculture", présenté à 10ème journée francophone sur les Entrepôts de Données et l'Analyse en ligne (EDA), Vichy, FRA, 2014, p. 10.
4. C. Roussey et J. P. Chanet, "Le premier module d'une ontologie agricole sur la protection des cultures : Agronomic Taxon", in Atelier INTégration de sources/masses de données hétérogènes et Ontologies, dans le domaine des sciences du VIVant et de l'Environnement, IN-OVIV 2013 associé à la Plate-forme IA 2013 (PFIA 2013) et aux 24ème journées d'Ingénierie des Connaissances (IC 2013), 02/07/2013, Lille, FRA, 2013, p. 5-16.
5. C. Roussey, J. P. Chanet, et S. Bernard, "Les Bulletins de Santé du Végétal : spécification d'une base d'annotations pour la recherche d'information sémantique en français", in Cinquième Atelier Recherche d'Information SÉmantique, RISE 2013 associé à la Plate-forme IA 2013 (PFIA 2013) et aux 24ème journées d'Ingénierie des Connaissances (IC 2013), 01/07/2013, Lille, FRA, 2013, p. 52-64.
6. E. Donnat, D. Boffety, M. Pradel, A. Tailleur, S. Bimonte, et J. P. Chanet, "Évaluation fine des performances énergétiques des exploitations agricoles par l'utilisation

- des NTIC", in Casdar Innovation et Partenariat. Résultats de l'appel à projets 2008, Journée de restitution , 06 juin, Paris, FRA, 2013, p. 87-102.
7. F. Amarger, C. Roussey, J. P. Chanet, O. Haemmerlé, et N. Hernandez, "Etat de l'art : Extraction d'information à partir de thésaurus pour générer une ontologie", in 31ème congrès INFormatique des ORganisations et Systèmes d'Information et de Décision (INFORSID), 29-31 mai, Paris, FRA, 2013, vol. 1, p. 16.
 8. F. Amarger, C. Roussey, J. P. Chanet, O. Haemmerlé, et N. Hernandez, "Enrichissement d'un module ontologique : proposition d'une méthode pour le cas de l'agriculture", in Ingénierie des Connaissances 2013. Atelier Qualité et Robustesse dans le Web de Données, 02/07/2013, Lille, FRA, 2013, p. 12.
 9. V. Chhuo, C. Roussey, V. Soullignac, S. Bernard, et J. P. Chanet, "Une nouvelle méthode d'appariement entre deux vocabulaires d'annotation", in 4ème atelier Recherche d'Information SEMantique RISE associé à la conférence EGC 2012 , 31/01/2012, Bordeaux, FRA, 2012, p. 3-18.
 10. R. Bendadouche, C. Roussey, G. De Sousa, J. P. Chanet, et K. M. Hou, "Etat de l'art sur les ontologies de capteurs pour une intégration intelligente des données", in 30ème Congrès Inforsid, 29-31 mai, Montpellier, FRA, 2012, p. 89-104.
 11. R. Bendadouche, G. De Sousa, C. Roussey, J. P. Chanet, et K. M. Hou, "Simulation des réseaux de capteurs sans fil agri-environnementaux", in 8èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité UBIMOB'12, 4-6 juin, Anglet, FRA, 2012, p. 302-310.
 12. V. Soullignac, J. L. Ermine, J. L. Paris, O. Devise, et J. P. Chanet, "Un serveur de connaissance pour l'agriculture durable", in 4ème Conférence Francophone Gestion des Connaissances, Société et Organisation, 18-20 Mai, Clermont-Ferrand, France, 2011, p. 25.
 13. A. Jacquot, G. De Sousa, J. P. Chanet, et F. Pinet, "Réseau de capteurs sans fil pour le suivi de l'humidité du sol des vignes", in ECOTECHS' 2011, Capteurs et systèmes de mesures pour les applications environnementales, 17-18 octobre, Montoldre, France, 2011, p. 7-10.
 14. V. Soullignac, J. L. Ermine, J. L. Paris, O. Devise, et J. P. Chanet, "Un serveur de connaissances pour l'agriculture biologique", in Conseiller en agriculture : acteurs, marchés, mutations (SFER), 14-15 octobre, Dijon, FRA, 2010, p. 10.
 15. M. Visoli, S. Ternès, J. P. Chanet, F. Pinet, A. Miralles, S. Bernard, et G. De Sousa, "A new information system for tracing geolocations of bovine cattle", in Atelier Systèmes d'Information et de Décision pour l'Environnement, INFORSID 2009, 26/05/2009, Toulouse, FRA, 2009, p. 11.
 16. G. De Sousa, H. Y. Zhou, K. M. Hou, C. De Vaulx, et J. P. Chanet, "Système pour l'acquisition et la gestion de données environnementales", in Atelier Thématique "Système d'Information et de Décision pour l'Environnement" associé au XXVIème Congrès INFORSID, 27-30 mai, Fontainebleau, FRA, 2008, p. 77-84.

17. A. Jacquot, J. P. Chanet, K. M. Hou, et H. Y. Zhou, "Un objet communicant intelligent pour des réseaux agri-environnementaux : LiveNode", in 5ème édition des journées STIC & Environnement, 13-15 novembre, Lyon, France, 2007, p. 9.
18. K. M. Hou, J. P. Chanet, F. Pinet, F. Vigier, R. Aufrere, H. Y. Zhou, G. De Sousa, A. Amamra, M. Schneider, et M. A. Kang, "For an Inter Vehicle Communication System Intelligent : CIVIC", in Colloque Société de l'information bilan du programme interdisciplinaire de recherche du CNRS, 19-21 mai, Lyon, France, 2005, p. 9.

3.7 Posters

1. J. Sun, G. De Sousa, C. Roussey, J. P. Chanet, et K. M. Hou, "The Internet of things for environment", présenté à Journées scientifique de l'école doctorale SPI de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, FRA, 2014.
2. F. Amarger, C. Roussey, J. P. Chanet, N. Hernandez, et O. Haemmerlé, "Toward an intelligent system to gather and query data about bio-agressors attacks", présenté à 10th Summer School on Ontology Engineering and the Semantic Web (SSSW2013), 07-13 july, Cercedilla, ESP, 2013.
3. F. Amarger, C. Roussey, J. P. Chanet, O. Haemmerlé, et N. Hernandez, "Web de données agricole : transformation de sources pour une ontologie modulaire", présenté à Conference Ingénierie des Connaissances (IC), 1-5 juillet, Lille, FRA, 2013.
4. Y. Chen, J. P. Chanet, et K. M. Hou, "Routing algorithm dedicated to environmental data collection : Precision Agriculture", présenté à Journées Scientifiques de l'école doctorale Sciences pour l'Ingénieur. Université Blaise Pascal, 14/06/2012, Clermont-Ferrand, FRA, 2012.
5. G. Fortino, M. Cerf, J. P. Chanet, et R. Reau, "GECOphyto : a collaborative knowledge management platform to reduce pesticide use", présenté à XIth ESA Congress, 29 Aug.-3 Sept., Montpellier, FRA, 2010.
6. J. C. Champomier, S. Bernard, G. André, J. P. Chanet, et V. Polvèche, "An example of the information system benefits : The monitoring of sprayers inspection in France", présenté à AgEng 2010 : International Conference on Agricultural Engineering, 6-8 Sept., Clermont Ferrand, FRA, 2010.
7. D. Boffety, J. P. Chanet, K. M. Hou, G. André, A. Amamra, G. De Sousa, et A. Jacquot, "Hybrid wireless networks for advanced communication services in agriculture", présenté à EFITA 2009, 6-8 July, Wageningen, NLD, 2009.
8. J. P. Chanet, D. Boffety, J. J. Li, F. Pinet, P. Gerbe, M. Schneider, F. Vigier, et K. M. Hou, "Ad Hoc network for agriculture", présenté à 4th EFITA Conference, 5-9 July, Budapest, Hungaria, 2003.

3.8 Communications sans actes

1. R. Bendadouche, S. Bernard, J. P. Chanet, G. De Sousa, et C. Roussey, "Ontologies de capteurs", in Atelier "Sémantique et ontologies", 5-6 décembre, Moulis , FRA, 2013, p. 41.
2. A. Jacquot, J. P. Chanet, et G. De Sousa, "Les réseaux de capteurs sans fil au service des applications agri-environnementales", in Journée thématique ResCom, RESeaux de capteurS et Applications Critiques de Surveillance (RESSACS), 25 juin, Bayonne, FRA, 2010, p. 25.
3. A. Jacquot, J. P. Chanet, K. M. Hou, X. Diao, et J. J. Li, "A new approach for wireless sensor network management : LiveNCM", in 2nd NTMS'2008 Conference and Workshops, 5-7 Nov., Tanger, MAR, 2008, p. 6.
4. J. P. Chanet, H. Y. Zhou, et J. J. Li, "Communication Inter Véhicule Intelligente et Coopérative : CIVIC", in Accès et accessibilité à la ville, Université Européenne d'Eté 2006, 13 au 20 septembre 2006, Clermont-Ferrand, France, 2006, p. 17.
5. G. De Sousa, J. P. Chanet, A. Amamra, J. Hao, M. A. Kang, F. Pinet, et K. M. Hou, "Protocole de communication sans fil dédié : Obstacle Location-Aided Routing", in Journée Véhicule Intelligent de l'Ecole Doctorale Sciences pour l'Ingénieur de Clermont Ferrand, 27 juin, Clermont-Ferrand, France, 2005, p. 12.

3.9 Conférences invitées

1. J. P. Chanet, "Objets connectés et agriculture : enjeux, marché et acteurs", in Agriculture du futur, Aubière, France, 2016.
2. J. P. Chanet, "Etat des lieux des acteurs et services en lien avec les objets connectés", in Objets connectés pour les territoires agricoles, Montpellier, France, 2016.
3. J. P. Chanet, "Les systèmes d'information : de l'échange de données à la mutualisation", in SIMA 2015 Conférence agriculture connectée, TIC et robotique, Paris, FRA, 2015.
4. F. Amarger, S. Bernard, J. P. Chanet, O. Haemmerlé, N. Hernandez, et C. Roussey, "Annotations des BSV et interrogation", in Journées FréDoc 2013 , 07-10 octobre, Aussois, FRA, 2013, p. 18.
5. J. P. Chanet, G. De Sousa, et A. Jacquot, "Réseaux de capteurs et agriculture", in 51e Congrès du Club EEA, "Les disciplines de l'EEA et le défi des enjeux sociétaux du XXIe siècle", 23-24 juin, Montpellier, FRA, 2011, p. 19.
6. J. P. Chanet, "Integrated information systems : OTAG Project", in Geofairtrade Conference , 05 Nov., Brussel, BEL, 2010, p. 18.
7. J. P. Chanet, "Wireless technology and information system for traceability", in Workshop on Farm Advisory System and Farm Level Traceability, 02-04 October, Ispra, Italia, 2006, p. 16.

3.10 Rapports

1. J. N. Aubertot, A. Capillon, J. P. Chanet, C. Lamine, et X. Pinochet, "Analyses et recommandations du Comité d'Appui Scientifique et Technique à la Cellule d'Animation Nationale du dispositif DEPHY du plan ECOPHYTO 2018", Paris, France, 2013.
2. G. De Sousa, A. Jacquot, F. Pinet, et J. P. Chanet, "Rapport technique Projet DISP'eau du 1er mars 2010 au 31 mai 2011", Irstea, Aubière, France, 2011.
3. J. P. Chanet, "Document de synthèse de l'expertise des systèmes d'information MicMac design BD, Osmose et SYSTERRE", Irstea, Aubière, France, 2011.
4. G. André, S. Bernard, J. C. Champomier, et J. P. Chanet, "Cahier des charges de l'application DATAPULVES", Cemagref, Montoldre, France, 2010.
5. O. Ercetin, D. Boffety, K. M. Hou, J. P. Chanet, et A. Amamra, "Specifications and design of intelligent wireless networking", Univ. Sabency, Istanbul, Turkia, 2009.
6. O. Ercetin, D. Boffety, K. Hou, J. P. Chanet, A. Amamra, et G. André, "Simulation and laboratory test performance evaluation results (project Netadded, New Technologies to Avoid Digital Division in e-divided areas)", Univ. Sabency, Istanbul, Turkia, 2009.
7. O. Ercetin, D. Boffety, K. M. Hou, J. P. Chanet, A. Amamra, et G. André, "Metrics and test definition (Project Netadded New Technologies to Avoid Digital Division in e-Divided areas)", Univ. Sabency, Istanbul, Turkia, 2009.
8. O. Ercetin, D. Boffety, K. M. Hou, J. P. Chanet, A. Amamra, et G. André, "Development of mesh WIFI equipment", Univ. Sabency, Istanbul, Turkia, 2009.
9. D. Boffety, G. André, et J. P. Chanet, "D31-D33 NeT-ADDeD project : Validation site Operation, Maintenance & Evaluation Report - Allier (France)", Cemagref, Montoldre, France, 2009.
10. M. Visoli, S. Ternès, A. Miralles, J. P. Chanet, F. Pinet, G. De Sousa, P. P. Pires, et T. Amaral, "UML Model of the OTAG local system", Cemagref - Embrapa, Aubière, France, 2008.
11. M. Visoli, S. Ternès, J. P. Chanet, F. Pinet, G. De Sousa, et A. Miralles, "OTAG information system", Cemagref - Embrapa, Aubière, France, 2008.
12. S. Bernard, P. Rameau, J. P. Chanet, et M. Visoli, "Data generation for information system design", Cemagref - Embrapa, Aubière, France, 2008.
13. J. P. Chanet, A. Jacquot, et K. M. Hou, "Développement d'un prototype expérimental de laboratoire dit capteur d'état hydrique du sol", Cemagref - Limos, Aubière, France, 2007.
14. K. M. Hou, J. P. Chanet, F. Pinet, F. Vigier, J. J. Li, R. Aufrere, H. Zhou, G. De Sousa, A. Amamra, M. Schneider, et M. A. Kang, "Vers une Communication Inter

Véhicule Intelligente Coopérative : CIVIC", Cemagref - Limos, Aubière, France, 2004.

15. J. P. Chanet, P. Rameau, T. Humbert, M. Chaput, F. Vigier, et K. M. Hou, "Réalisation d'une antenne motorisée pour réseau sans fil étendu", Cemagref, Aubière, France, 2003.

3.11 Thèse

1. J. P. Chanet, "Algorithme de routage coopératif à qualité de service pour des réseaux ad hoc agri-environnementaux", Doctorat informatique, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand II, Aubière, France, 2007.

CONCLUSION DU MÉMOIRE
D'HABILITATION À DIRIGER DES
RECHERCHES

Chapitre 1

Bilan des recherches

"En toute chose il faut considérer la fin."
Jean de La Fontaine, *Le Renard et le Bouc*
(III, 5)

Au travers de ces actions de recherche, nous avons mis en évidence la pertinence d'utiliser des représentations du contexte de l'usage de capteurs et de connaissances afin d'adapter au mieux les usages aux besoins des utilisateurs ou des applications. Cette approche est d'autant plus nécessaire pour l'agriculture qui est très fortement contextualisée : condition pédo-climatiques, natures des pratiques, stade de développement de la végétation...

Que les besoins de contexte soient pour l'optimisation du fonctionnement des WSN ou pour la mobilisation de connaissances, nous avons montré que les ontologies sont des outils pertinents et qui ont vocation à se développer de plus en plus dans le cadre du web sémantique et l'IoT.

Pour les WSN, l'utilisation du contexte permet d'accroître la durée de vie du réseau en limitant les messages échangés pour recueillir des informations sur les états des nœuds, pour assurer le routage au sein du réseau ou pour adapter la politique de fonctionnement des nœuds aux phénomènes observés. Nous avons proposé des extensions au standard SSN permettant de modéliser la partie communication sans fil des WSN.

En ce qui concerne les connaissances en lien avec les pratiques agricoles, les ontologies permettent de les contextualiser et de les lier entre-elles afin de pouvoir proposer des systèmes qui permettent aux acteurs de l'agriculture de réfléchir aux nouvelles pratiques permettant d'aller de manière plus fiable et plus rapide vers l'agroécologie. Ces recherches ont permis de concevoir la future plateforme de gestions de connaissances autour du plan ECOPHYTO pour le ministère de l'agriculture.

J'ai pu au cours de ces années co-encadrées sept thèses très différentes les unes des autres. Tous ces travaux m'ont permis de travailler avec de nombreuses personnes issues

de disciplines très différentes : informatique, électronique, ingénierie des connaissances, agronomie, sociologie. Les défis à relever pour l'agriculture sont de nature très complexes et il faut être en capacité de pouvoir établir des ponts entre tous ces champs d'expertises. Ceci peut être long et difficile, mais toujours humainement très enrichissant.

Chapitre 2

Perspectives de recherches

"La technique est moins importante que les hommes ou que la société, l'important, c'est le projet humain qui est derrière."

Dominique Wolton, *Internet et après*

Le numérique offre à l'agriculture de nouvelles perspectives qui vont lui permettre de faire sa mutation nécessaire pour répondre aux exigences de la triple performance : économique, environnementale et sociale.

Par essence même, l'agriculture est fortement contextualisée. Chaque exploitation possède ses propres conditions pédoclimatiques, ses contraintes de productions, ses équipements... Il convient donc de pouvoir représenter l'ensemble de cet environnement de manière pertinente afin de pouvoir prendre les décisions les plus adaptées.

Les ontologies permettent de modéliser les contextes et les connaissances nécessaires à cette agriculture numérique. La dimension sémantique est indispensable pour pouvoir gérer cette quantité d'informations, d'autant plus que la place de l'homme reste importante dans le processus de recueil d'informations ou de décision.

L'objectif de mes travaux futurs est de poursuivre dans cette voie de mise en œuvre des ontologies pour pouvoir intégrer de manière transparente les données issues de différentes sources (capteurs, robots, observations humaines, bases de données) dans les processus de décision dans le cadre de l'agriculture numérique.

Cet objectif peut se décliner en deux axes : le premier est de **porter au plus près des nœuds de mesure la puissance du web sémantique** et le second est de **promouvoir les outils sémantiques dans le monde agricole**.

Sémantique et acquisition de données

Les capteurs in situ vont se généraliser en agriculture. Cette généralisation ne se fera pas forcément sous la forme de WSN classiques, car les nouvelles technologies de communication type LoRa ou SigFox semblent plus adaptées au contexte agricole, mais les applications auront comme sources de données accès à de nombreux capteurs.

Les recherches menées ont permis de montrer la pertinence d'utiliser le contexte pour optimiser le fonctionnement et accroître la robustesse des WSN. Les ontologies, de part leur expressivité, autorisent une modélisation fine du fonctionnement des réseaux, de l'application qu'ils portent et des différents phénomènes observés. Cette démarche de modélisation doit pouvoir être étendue de manière globale à la conception d'une application pour capteurs sans fil. Une fois la modélisation effectuée en mobilisant les ontologies ad hoc il faut être à même de générer facilement le code qui sera embarqué sur les différents éléments du système : les nœuds, les passerelles, le système de supervision. De même, la configuration d'un nouveau capteur sur le terrain doit pouvoir se faire de manière automatique et adaptée à son contexte et en accord avec les attentes des applications. Un des enjeux est de pouvoir répartir les connaissances modélisées sous forme d'ontologie dans les différents éléments composants le réseau et ce de manière automatique ou semi-automatique. Le niveau d'agrégation de l'information (exhaustivité vs compacité) est également une question importante.

Le déploiement d'un capteur, notamment avec les nouvelles formes de communication longue distance, doit maintenant être pensé comme une nouvelle source de données sur l'IoT : chaque capteur doit fournir de manière normalisée ses mesures et les métadonnées associées. Il faut également bien modéliser le fonctionnement dynamique des systèmes observés afin de pouvoir faire évoluer le comportement des capteurs en fonction du contexte. Les automates temporisés sont une réponse à ce besoin de modélisation fine.

Sémantique et monde agricole

Il existe différentes initiatives essayant de promouvoir les technologies sémantiques dans le secteur agricole : projets de recherche, ateliers de réflexion. Elles sont encore trop souvent limitées au cercle des chercheurs. Au niveau international, la FAO mène des actions autour du thésaurus Agrovoc afin de promouvoir le web sémantique en agriculture, mais ces actions ont peu d'écho au sein de la communauté agricole française.

Il est donc important de promouvoir cette thématique au niveau national par différentes actions. D'une part il faut poursuivre les travaux de recherche afin de proposer des solutions permettant de manipuler les informations de manière simple : développement d'outils de requêtage en langage naturel adaptés au secteur agricole, proposition de méthodes de construction de bases de connaissances, publication des données agricoles sur le web de données...

D'autre part, il est important de promouvoir ces technologies et fédérer les différentes initiatives. Il convient donc de constituer une communauté œuvrant de manière concertée en lien avec les initiatives internationales (FAO, W3C...). Notre équipe est légitime pour initier ce type d'action.

Comme le résume la Figure 2.1, la suite de ces travaux a pour objectifs principaux de contribuer à :

- Configurer les capteurs et les machines en fonction des conditions d'usage ;
- Alimenter le web de données agricoles ;
- Accroître l'interopérabilité des services de l'agriculture numérique ;
- Capitaliser les connaissances pour faire évoluer l'agriculture.

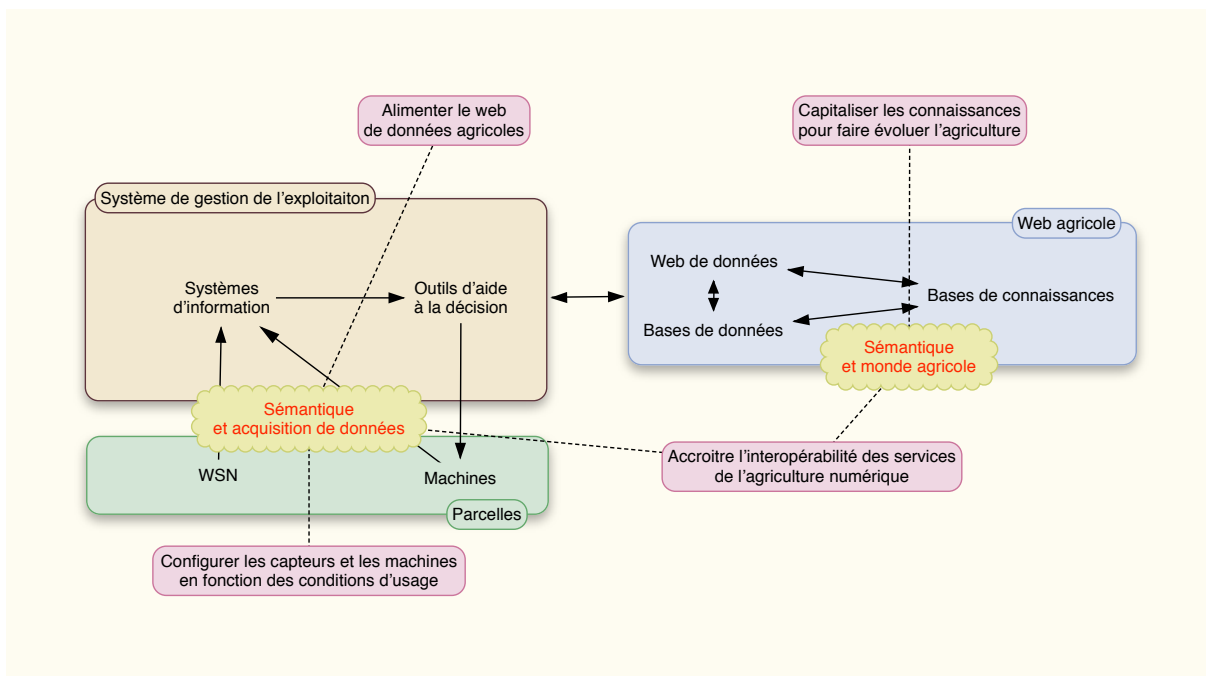


Figure 2.1 – Perspectives des recherches

De manière plus large, notre unité de recherche "Technologies et Systèmes d'Information pour les Agrosystèmes" a un rôle majeur à jouer dans cette révolution numérique de l'agriculture et j'entends avec l'ensemble de mes collègues contribuer de manière significative à la recherche et à l'innovation dans ce secteur.

ANNEXES

Bibliographie

- [Abowd 99] G D Abowd, A K Dey, P J Brown, N Davies, M Smith & P Steggles. *Towards a better understanding of context and context-awareness*. In *Handheld and ubiquitous computing*, pages 304–307. Springer, 1999.
- [Abt 07] V Abt & M Sellam. *Documentation et traçabilité dans les exploitations agricoles : vers une gestion documentaire de qualité*. *Ingénieries - EAT*, vol. 52, pages 49–60, 2007.
- [Adamchuk 04] V I Adamchuk, J W Hummel, M T Morgan & S K Upadhyaya. *On-the-go soil sensors for precision agriculture*. *Computers and electronics in agriculture*, vol. 44, no. 1, pages 71–91, 2004.
- [Akyildiz 07] I F Akyildiz, T Melodia & K R Chowdhury. *A survey on wireless multimedia sensor networks*. *Computer networks*, vol. 51, no. 4, pages 921–960, 2007.
- [Almalkawi 10] I T Almalkawi, M Guerrero Zapata, J N Al-Karaki & J Morillo-Pozo. *Wireless multimedia sensor networks : current trends and future directions*. *Sensors*, vol. 10, no. 7, pages 6662–6717, 2010.
- [Amarger 15a] F Amarger. *Vers un système intelligent de capitalisation de connaissances pour l’agriculture durable : construction d’ontologies agricoles par transformation de sources existantes*. Doctorat Informatique, IRIT, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 2015.
- [Amarger 15b] F Amarger, J P Chanet, O Haemmerlé, N Hernandez & C Roussey. *Construction d’une ontologie par transformation de systèmes d’organisation des connaissances et évaluation de la confiance*. *Ingénierie des Systèmes d’Information*, vol. 20, no. 3, pages 37–61, 2015.
- [Amarger 16a] F Amarger, J P Chanet, R Guillaume, O Haemmerlé, N Hernandez & C Roussey. *Détection de consensus entre sources et calcul de confiance fondé sur l’intégrale de Choquet*. In *Journées francophones de l’ingénierie des connaissances (IC 2016)*, Montpellier, France, 2016.

- [Amarger 16b] F Amarger, J P Chanet, H Haemmerle, N Hernandez & C Roussey. *Knowledge Engineering Method Based on Consensual Knowledge and Trust Computation : The MUSCKA System*. In Graph-Based Representation and Reasoning - 22nd International Conference on Conceptual Structures, ICCS 2016, pages 177–190, Annecy, France, 2016.
- [Amato 07] G Amato, F Furfari, S Lenzi & S Chessa. *Enabling Context Awareness through Distributed Query Processing in Wireless Sensor Networks*. In 2nd International Workshop on Requirements and Solutions for Pervasive Software infrastructures, Innsbruck, Austria, 2007.
- [Ampatzidis 09] Y G Ampatzidis & S G Vougioukas. *Field experiments for evaluating the incorporation of RFID and barcode registration and digital weighing technologies in manual fruit harvesting*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 66, no. 2, pages 166–172, 2009.
- [Arroqui 12] M Arroqui, C Mateos, C Machado & A Zunino. *RESTful Web Services improve the efficiency of data transfer of a whole-farm simulator accessed by Android smartphones*. Computers and electronics in agriculture, vol. 87, pages 14–18, 2012.
- [Auernhammer 01] H Auernhammer. *Precision farming - the environmental challenge*. Computers and electronics in agriculture, vol. 30, no. 1, pages 31–43, 2001.
- [Aulbur 15] W Aulbur, N Dressler, S Keese & J Zhang. *Business opportunities in precision farming : Will big data feed the world in the future ?* Rapport technique, Roland Berger Startegy Consltants GmbH, 2015.
- [Ballari 09] D Ballari, M Wachowicz & M A M Callejo. *Metadata behind the interoperability of wireless sensor networks*. Sensors, vol. 9, no. 5, pages 3635–3651, 2009.
- [Ballari 12] D Ballari, M Wachowicz, A K Bregt & M Manso-Callejo. *A mobility constraint model to infer sensor behaviour in forest fire risk monitoring*. Computers, Environment and Urban Systems, vol. 36, no. 1, pages 81–95, 2012.
- [Barge 10] P Barge, P Gay, P Piccarolo & C Tortia. *RFID tracking of potted plants from nursery to distribution*. In International Conference Ragusa SHWA2010, 2010.
- [Bendadouche 12a] R Bendadouche, G De Sousa, C Roussey, J P Chanet & K M Hou. *Simulation des réseaux de capteurs sans fil agri-environnementaux*. In 8èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité UBIMOB 12, Anglet, France, 2012.

-
- [Bendadouche 12b] R Bendadouche, C Roussey, G De Sousa, J P Chanet & K M Hou. *Etat de l'art sur les ontologies de capteurs pour une intégration intelligente des données*. In 30ème Congrès Inforsid, Montpellier, France, 2012.
- [Bendadouche 12c] R Bendadouche, C Roussey, G De Sousa, J P Chanet & K M Hou. *Extension of the Semantic Sensor Network Ontology for Wireless Sensor Networks : The Stimulus-WSNnode-Communication Pattern*. In 5th International Workshop on Semantic Sensor Networks in conjunction with the 11th International Semantic Web Conference (ISWC), Boston, USA, 2012.
- [Bishop-Hurley 07] G J Bishop-Hurley, D L Swain, D M Anderson, P Sikka, C Crossman & P Corke. *Virtual fencing applications : Implementing and testing an automated cattle control system*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 56, no. 1, pages 14–22, 2007.
- [Boiteau 16] P Boiteau. *Les Appli mobiles pour mon métier : Les applis préférées des agriculteurs*. <http://urlz.fr/31xL>, 2016.
- [Bournigal 15] J M Bournigal, F Houllier, P Lecouvey & P Pringuet. *Agriculture Innovation 2025 : 30 projets pour une agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement*. Rapport technique, Ministère de l'agriculture, 2015.
- [Brinis 16] N Brinis & L A Saidane. *Context Aware Wireless Sensor Network Suitable for Precision Agriculture*. Wireless Sensor Network, vol. 8, no. 1, pages 1–12, 2016.
- [Burleigh 08] S Burleigh, M Ramadas & S Farrell. *Licklider Transmission Protocol-Motivation*. RFC 5325, IETF, 2008.
- [Butault 10] J P Butault, C A Dedryver, C Gary, L Guichard, F Jacquet, J M Meynard, P Nicot, M Pitrat, R Reau, B Sauphanor, I Savini & T Volay. *Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude*. Rapport technique, INRA, 90 pages, 2010.
- [Cap2020 15] Cap2020. *CapTrap : Pieuze intelligent de ravageur*. <http://www.dailymotion.com/video/x3epsk7>, 2015.
- [Cardell-Oliver 05] R Cardell-Oliver, M Kranz, K Smettem & K Mayer. *A Reactive Soil Moisture Sensor Network : Design and Field Evaluation*. International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 1, no. 2, pages 149–162, 2005.
- [Cartade 12] P Cartade, R Lenain, B Thuilot, B Benet & M Berducat. *Motion Control of a heterogeneous fleet of mobile robots : Formation control for achieving agriculture task*. In 5th Automation Technology for Off-Road Equipment Conference in conjunction with AGENG'12, Valencia, Spain, 2012.

- [Case 93] J Case, K McCloghrie, M Rose & S Waldbusser. *Transport mappings for version 2 of the simple network management protocol (SNMPv2)*. Rapport technique RFC 1449, Inc., Hughes LAN Systems, Dover Beach Consulting, Inc., Carnegie Mellon University, 1993.
- [Cerf 07] V Cerf, S Burleigh, A Hooke, L Torgerson, R Durst, K Scott, K Fall & H Weiss. *Delay-tolerant networking architecture*. RFC 4838, IETF, 2007.
- [Cesana 12] M Cesana, A Redondi, N Tiglao, A Grilo, J M Barcelo-Ordinas, M Alaei & P Todorova. *Real-time multimedia monitoring in large-scale wireless multimedia sensor networks : Research challenges*. In Next Generation Internet (NGI), 2012 8th EURO-NGI Conference on, Karlskrona, Sweden, 2012.
- [Chanet 03] J P Chanet, D Boffety, J F Devaux, K M Hou & S Bouazdi. *Communication et équipements agricoles - Du réseau embarqué au réseau ad hoc sans fil pour l'intégration des équipements agricoles dans des systèmes d'information étendus*. Ingénieries - EAT, vol. Special "Technologies pour les agrosystèmes durables", pages 177–190, 2003.
- [Chanet 06] J P Chanet, D Boffety, G André & F Vigier. *Ad Hoc network for agriculture : irrigation management*. In XVI CIGR World Congress, Bonn, Germany, 2006.
- [Chanet 11] J P Chanet, G De Sousa & A Jacquot. *Réseaux de capteurs et agriculture*. In 51e Congrès du Club EEA, "Les disciplines de l'EEA et le défi des enjeux sociétaux du XXIe siècle", 23-24 juin, Montpellier, France, 2011.
- [Chanet 16] J P Chanet. *État des lieux des acteurs et services en lien avec les objets connectés*. In Objets connectés pour les territoires agricoles, Montpellier, France, 2016.
- [Chaudhary 11] D D Chaudhary, S P Nayse & L M Waghmare. *Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture*. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), vol. 3, no. 1, pages 140–149, 2011.
- [Chen 13] Y Chen, J P Chanet, K M Hou & H L Shi. *Extending the RPL protocol to Agricultural Low-power and Lossy Networks (A-LLNs)*. International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS), vol. 4, no. 4, pages 25–47, 2013.
- [Chen 15a] Y Chen. *Routing algorithm dedicated to environmental data collection : Precision Agriculture*. Doctorat Informatique, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, France, 2015.

-
- [Chen 15b] Y Chen, J P Chanet, K M Hou, H Shi & G De Sousa. *A Scalable Context-Aware Objective Function (SCAOF) of Routing Protocol for Agricultural Low-Power and Lossy Networks (RPAL)*. Sensors, vol. 15, no. 8, pages 19507–19540, 2015.
- [Cherrier 11] S Cherrier, Y M Ghamri-Doudane, S Lohier & G Roussel. *D-lite : Distributed logic for internet of things services*. In Internet of Things (iThings/CPSCoM), 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing, Dalian, China, 2011.
- [Chevrier 13] C Chevrier, V De Rudnicki, B Ruelle & X Crété. *Les nouvelles technologies pour réduire les quantités de produits phytosanitaires et leurs impacts sur l’environnement*. Innovations Agronomiques, vol. 28, pages 101–111, 2013.
- [Chhuo 12] V Chhuo, C Roussey, V Soullignac, S Bernard & J P Chanet. *A new mapping method between two vocabularies for annotation*. In 4ème atelier Recherche d’Information SEmantique RISE associé à la conférence EGC 2012, pages 3–18, Bordeaux, France, 2012.
- [Compton 09] M Compton, H Neuhaus, K Taylor & K N Tran. *Reasoning about Sensors and Compositions*. SSN, vol. 522, pages 33–48, 2009.
- [Dang 13] K Dang, H Sun, J P Chanet, J Garcia-Vidal, J M Barcelo-Ordinas, H L Shi & K M Hou. *Wireless Multimedia Sensor Network for plant disease detections*. In NICST’2103 New Information Communication Science and Technology for Sustainable Development : France-China International Workshop, Clermont Ferrand, France, 2013.
- [Dapper 03] M Dapper, J S Wells, T Schwallie & L Huon. *RF propagation in short-range sensor communications*. In AeroSense 2003, Orlando, USA, 2003.
- [Dhar 14] S K Dhar, S S Bhunia, S Roy & N Mukherjee. *Enabling Smartphone as Gateway to Wireless Sensor Network*. In Recent Advances in Information Technology, pages 19–26. Springer, 2014.
- [Ermine 00] J L Ermine. *Les systèmes de connaissances*. Hermes Science Publication, 2000.
- [Fall 03] K Fall. *A delay-tolerant network architecture for challenged internets*. In the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications, Karlsruhe, Germany, 2003.
- [Farmstar 14] Farmstar. *Les images satellite au service de l’agriculture de précision / FARMSTAR - Vos Parcelles vues du ciel*. https://www.farmstar-conseil.fr/agriculture_teledection.html, 2014.

- [Farrell 06] S Farrell, V Cahill, D Geraghty, I Humphreys & P McDonald. *When TCP breaks : Delay-and disruption-tolerant networking*. In Internet Computing, IEEE, vol. 10, no. 4, pages 72–78, 2006.
- [Féret 01] S Féret & J M Douguet. *Agriculture durable et agriculture raisonnée : Quels principes et quelles pratiques pour la soutenabilité du développement en agriculture ?* Nature Sciences Sociétés, vol. 9, no. 1, pages 58–64, 2001.
- [Fortino 10] G Fortino, M Cerf, J P Chanet & R Reau. *GECOphyto : a collaborative knowledge management platform to reduce pesticide use*. In XIth ESA Congress, Montpellier, France, 2010.
- [Franzen 15] D Franzen & D Mulla. *A history of precision agriculture*. In Precision Agriculture Technology for Crop Farming, pages 1–20. CRC Press, 2015.
- [Fukatsu 05] T Fukatsu & M Hirafuji. *Field Monitoring Using Sensor-Nodes with a Web Server*. Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 17, no. 2, pages 164–172, 2005.
- [Gakuru 09] M Gakuru, K Winters & F Stepman. *Innovative farmer advisory services using ICT*. In W3C "Africa perspective on the role of mobile technologies in fostering social development", Maputo, Mozambique, 2009.
- [Garcia-Sanchez 11] A J Garcia-Sanchez, F Garcia-Sanchez & J Garcia-Haro. *Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 75, no. 2, pages 288–303, 2011.
- [Goumopoulos 09] C Goumopoulos, A D Kameas & A Cassells. *An ontology-driven system architecture for precision agriculture applications*. International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies, vol. 4, no. 1-2, pages 72–84, 2009.
- [Green 09] O Green, E S Nadimi, V Blanes-Vidal, R N. Jorgensen, I M L D Storm & C G Sorensen. *Monitoring and modeling temperature variations inside silage stacks using novel wireless sensor networks*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 69, no. 2, pages 149–157, 2009.
- [Grenier 12] G Grenier. *Évolution des TIC en agriculture*. In TIC et agriculture : Appropriation des dispositifs numériques et mutations des organisations agricoles, Communication des organisations, pages 37–52. Raudin - Université Bordeaux, 2012.
- [Gruber 95] T R Gruber. *Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing ?* International journal of human-computer studies, vol. 43, no. 5, pages 907–928, 1995.

-
- [Guizard 12] C Guizard. *SmartGrappe -Capteur optique par smartphone pour la caractérisation environnementale*. <http://itap.irstea.fr/?p=4290>, 2012.
- [Haider 13] W Haider, A Rehman & N M Durrani. *Towards decision support model for ubiquitous agriculture*. In Eighth International Conference on Digital Information Management (ICDIM), Islamabad, Pakistan, Sept 2013.
- [Hailemariam 13] B A Hailemariam & D Ejigu. *Sensor Based Context-Aware System Architecture for Improving Yields in Agriculture*. HiLCoE Journal of Computer Science and Technology, vol. 1, no. 1, pages 51–56, 2013.
- [Han 13] S Han & F Cointault. *Détection précoce de maladies sur feuilles par traitement d'images*. In Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur, Cluny, France, 2013.
- [Handcock 09] R N Handcock, D L Swain, G J Bishop-Hurley, K P Patison, T Wark, P Valencia, P Corke & C J O'Neill. *Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing*. Sensors, vol. 9, no. 5, pages 3586–3603, 2009.
- [Hatchuel 09] A Hatchuel & B Weil. *CK design theory : an advanced formulation*. Research in engineering design, vol. 19, no. 4, pages 181–192, 2009.
- [Hernandez 07] N Hernandez, J Mothe, C Chrisment & D Egret. *Modeling context through domain ontologies*. Information Retrieval, vol. 10, no. 2, pages 143–172, 2007.
- [Hostiou 14] N Hostiou, C Allain, S Chauvat, A Turlot, C Pineau & J Fagon. *L'élevage de précision : quelles conséquences pour le travail des éleveurs ?* INRA Prod Anim, vol. 27, no. 2, pages 113–122, 2014.
- [Houston 84] A G Houston & F G Hall. *Use of satellite data in agricultural surveys*. Communications in Statistics-Theory and Methods, vol. 13, no. 23, pages 2857–2880, 1984.
- [Hu 07] Y Hu, Z Wu & M Guo. *Ontology driven adaptive data processing in wireless sensor networks*. In the 2nd international conference on Scalable information systems, Suzhou, China, 2007.
- [Huebner 13] C Huebner, R Cardell-Oliver, S Hanelt, T Wagenknecht & A Monsalve. *Long-range wireless sensor networks with transmit-only nodes and software-defined receivers*. Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 13, no. 17, pages 1499–1510, 2013.
- [Hwang 11a] J H Hwang & H Yoe. *Design and implementation of ubiquitous pig farm management system using iOS based smartphone*. In Future Generation Information Technology, pages 147–155. Springer, 2011.

- [Hwang 11b] J H Hwang & H Yoe. *Study on the context-aware middleware for ubiquitous greenhouses using wireless sensor networks*. *Sensors*, vol. 11, no. 5, pages 4539–4561, 2011.
- [Isaac 15] H Isaac & M Pouyat. *Les défis de l’agriculture connectée dans une société numérique*. Renaissance Numérique, 2015.
- [Jacquot 09] A Jacquot, J P Chanet, K M Hou, X Diao & J J Li. *LiveNCM : A new wireless management tool*. In AFRICON’09, Nairobi, Kenya, 2009.
- [Jacquot 10] A Jacquot. *Supervision de réseaux d’objets intelligents communicants sans fil*. Doctorat en Informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France, 2010.
- [Javelle 15] A Javelle. *L’ingénieur agronome et l’enjeu agroécologique. Entre sciences et art*. In Création - Créativité et innovation dans la formation et l’activité d’ingénieur, Paris, France, 2015.
- [Jones 09] G Jones. *Modélisation d’images agronomiques - application à la reconnaissance d’adventices par imagerie pour une pulvérisation localisée*. Doctorat en instrumentation et informatique, Université de Bourgogne, Dijon, France, 2009.
- [Kabashi 08] A H Kabashi & J M H Elmirghani. *A technical framework for designing wireless sensor networks for agricultural monitoring in developing regions*. In The Second International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, NGMAST’08, Cardiff, UK, 2008.
- [Kim 13] H Kim, S Jeong, H Kim & H Yoe. *A Study on the Context Service Model for Livestock Estrus Detection*. *International Journal of Smart Home*, vol. 7, no. 3, pages 177–184, 2013.
- [Kitchen 08] N R Kitchen. *Emerging technologies for real-time and integrated agriculture decisions*. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 61, no. 1, pages 1–3, 2008.
- [Ko 14] D Ko, Y Kwak & S Song. *Real time traceability and monitoring system for agricultural products based on wireless sensor network*. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2014, pages 1–7, 2014.
- [Konstantinos 07] K Konstantinos, X Apostolos, K Panagiotis & S George. *Topology optimization in wireless sensor networks for precision agriculture applications*. In Sensor Technologies and Applications, 2007. SensorComm 2007. International Conference on, Valencia, Spain, 2007.
- [Korpipaa 03] P Korpipaa, J Mantyjarvi, J Kela, H Keranen & E J Malm. *Managing context information in mobile devices*. *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 2, no. 3, pages 42–51, 2003.

-
- [Landais 98] E Landais. *Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social*. Le Courrier de l'environnement de l'Inra, vol. 33, pages 5–22, 1998.
- [Larsen 11] J J Larsen, O Green, E S Nadimi & T S Toftegaard. *The effect on wireless sensor communication when deployed in biomass*. Sensors, vol. 11, no. 9, pages 8295–8308, 2011.
- [Le Vine 96] D M Le Vine & M A Karam. *Dependence of attenuation in a vegetation canopy on frequency and plant water content*. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 34, no. 5, pages 1090–1096, 1996.
- [Lee 11] H Lee & H Yoe. *A study of energy efficient MAC based on contextual information for ubiquitous agriculture*. In Ubiquitous Computing and Multimedia Applications, pages 234–239. Springer, 2011.
- [Lu 10] J Lu, F Valois, M Dohler & M Y Wu. *Optimized data aggregation in WSNs using adaptive ARMA*. In Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications, Venice, Italia, 2010.
- [Ma 11] C Ma, Y Wang & G Ying. *The pig breeding management system based on RFID and WSN*. In information and computing (ICIC), 2011 fourth international conference on, Zhengzhou, China, 2011.
- [Mahapatroa 12] A Mahapatroa & P M Khilar. *Transient fault tolerant wireless sensor networks*. Procedia Technology, vol. 4, pages 97–101, 2012.
- [Malveaux 14] C Malveaux, S G Hall & R Price. *Using Drones in Agriculture : Unmanned Aerial Systems for Agricultural Remote Sensing Applications*. In ASABE, 2014 Montreal, Quebec Canada July 13 – July 16, Montreal, Quebec Canada, 2014.
- [Mampentzidou 12] I Mampentzidou, E Karapistoli & A A Economides. *Basic guidelines for deploying Wireless Sensor Networks in agriculture*. In IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT, St. Petersburg, Russia, 2012.
- [Mangstl 08] A Mangstl. *Emerging issues, priorities and commitments in e-agriculture*. Agricultural Information Worldwide, vol. 1, no. 1, pages 5–6, 2008.
- [Matta 02] N Matta, J L Ermine, G Aubertin & J Y Trivin. *Knowledge Capitalization with a knowledge engineering approach : the MASK method*. In Knowledge management and organizational memories, pages 17–28. Springer, 2002.
- [McCann 09] D McCann & M Roantree. *A query service for raw sensor data*. In Smart Sensing and Context, pages 38–50. Springer, 2009.

- [Mohammadrezaei 11] M Mohammadrezaei & N Attarzadeh. *Proposing a new approach to applying pervasive computing in agriculture environments*. Global Journal of Computer Science and Technology, vol. 11, no. 16, pages 7–11, 2011.
- [Molina-Martínez 09] J M Molina-Martínez & A Ruiz-Canales. *Pocket PC software to evaluate drip irrigation lateral diameters with on-line emitters*. Computers and electronics in agriculture, vol. 69, no. 1, pages 112–115, 2009.
- [Molina-Martínez 11] J M Molina-Martínez, M Jiménez, A Ruiz-Canales & D G Fernández-Pacheco. *RaGPS : A software application for determining extraterrestrial radiation in mobile devices with GPS*. Computers and electronics in agriculture, vol. 78, no. 1, pages 116–121, 2011.
- [Morais 08] R Morais, S G Matos, M A Fernandes, A L G Valente, S F S P Soares, P J S G Ferreira & M J C S Reis. *Sun, wind and water flow as energy supply for small stationary data acquisition platforms*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 64, no. 2, pages 120–132, 2008.
- [Nadimi 08] E S Nadimi, H T Sogaard & T Bak. *ZigBee-based wireless sensor networks for classifying the behaviour of a herd of animals using classification trees*. Biosystems Engineering, vol. 100, no. 2, pages 167–176, 2008.
- [Noguchi 04] N Noguchi, J Will, J Reid & Q Zhang. *Development of a master-slave robot system for farm operations*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 44, no. 1, pages 1–19, 2004.
- [Ochiai 11] H Ochiai, H Ishizuka, Y Kawakami & H Esaki. *A DTN-based sensor data gathering for agricultural applications*. Sensors Journal, IEEE, vol. 11, no. 11, pages 2861–2868, 2011.
- [Panchard 08] J Panchard, S Rao, M S Sheshshayee, P Papadimitratos, S Kumar & J P Hubaux. *Wireless sensor networking for rain-fed farming decision support*. In the second ACM SIGCOMM workshop on Networked systems for developing regions, Seattle, USA, 2008.
- [Perera 14] C Perera, A Zaslavsky, P Christen & D Georgakopoulos. *Context aware computing for the internet of things : A survey*. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. 16, no. 1, pages 414–454, 2014.
- [Peres 11] E Peres, M A Fernandes, R Morais, C R Cunha, J A López, S R Matos, P J S G Ferreira & M J C S Reis. *An autonomous intelligent gateway infrastructure for in-field processing in precision viticulture*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 78, no. 2, pages 176–187, 2011.

-
- [Popa 11] M Popa & C Iapa. *Embedded weather station with remote wireless control*. In 19th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2011.
- [Preuveneers 06] D Preuveneers & Y Berbers. *Prime Numbers Considered Useful : Ontology Encoding for Efficient Subsumption Testing*. Rapport technique Report CW 464, Leuven University, 50 pages, 2006.
- [Rahman 15] M Rahman, B Blackwell, N Banerjee & D Saraswat. *Smartphone-based hierarchical crowdsourcing for weed identification*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 113, pages 14–23, 2015.
- [Rehman 14] A Rehman, A Z Abbasi, N Islam & Z A Shaikh. *A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture*. Computer Standards & Interfaces, vol. 36, no. 2, pages 263–270, 2014.
- [Roussey 11] C Roussey, J P Chanet, V Soullignac & S Bernard. *Les ontologies en agriculture*. Ingénierie des Systèmes d'Information, vol. 16, no. 3, pages 55–84, 2011.
- [Roussey 13] C Roussey, J P Chanet, V Cellier & F Amarger. *Agronomic Taxon*. In 2nd international Workshop on Open Data (WOD 2013). Paris, France, 2013.
- [Roussey 14] C Roussey, S Bernard, G André, O Corcho, G De Sousa, D Boffety & J P Chanet. *Weather Station Data Publication at Irstea : an Implementation Report*. In Terra Cognita and Semantic Sensor Networks Workshop, Trentino, Italy, 2014.
- [Roussey 16] C Roussey, S Bernard, F Pinet, X Reboud & V Cellier. *Gestion Sémantique des Bulletins de Santé du Végétal dans le projet Vespa*. In Atelier In-ovive de la conférence francophone ingénierie des connaissances (IC 2016), Montpellier, France, 2016.
- [Ruiz-Garcia 09] L Ruiz-Garcia, L Lunadei, P Barreiro & I Robla. *A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry : state of the art and current trends*. Sensors, vol. 9, no. 6, pages 4728–4750, 2009.
- [Ruiz-Garcia 11] L Ruiz-Garcia & L Lunadei. *The role of RFID in agriculture : Applications, limitations and challenges*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 79, no. 1, pages 42–50, 2011.
- [Sanchez 06] L Sanchez, J Lanza, R Olsen, M Bauer & M Girod-Genet. *A generic context management framework for personal networking environments*. In 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems-Workshops, San Jose, USA, 2006.
- [Sankaran 10] S Sankaran, A Mishra, R Ehsani & C Davis. *A review of advanced techniques for detecting plant diseases*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 72, no. 1, pages 1–13, 2010.

- [Seydoux 15] N Seydoux, M Ben Alaya, N Hernandez, T Monteil & O Haemmerlé. *Sémantique et Internet des objets : d'un état de l'art à une ontologie modulaire*. In 26es Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, Rennes, France, June 2015.
- [Shamszaman 14] Z U Shamszaman, S S Ara, I Chong & Y K Jeong. *Web-of-Objects (WoO)-based context aware emergency fire management systems for the Internet of Things*. *Sensors*, vol. 14, no. 2, pages 2944–2966, 2014.
- [Sikka 06] P Sikka, C Crossman, P Corke, D Swain, P Valencia & G Bishop-Hurley. *Wireless adhoc sensor and actuator networks on the farm*. In Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN, Nashville, USA, 2006.
- [Soulignac 10] V Soulignac, J L Ermine, J L Paris, O Devise & J P Chanet. *Gestion informatisée des connaissances pour une agriculture durable*. In 3ème Conférence Francophone Gestion des Connaissances, Société et Organisations (GECOSO 2010), Strasbourg, France, 2010.
- [Soulignac 12a] V Soulignac. *Système informatique de capitalisation de connaissances et d'innovation pour la conception et le pilotage de systèmes de culture durables*. Doctorat en Informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France, 2012.
- [Soulignac 12b] V Soulignac, J L Ermine, J L Paris, O Devise & J P Chanet. *A knowledge management system for exchanging and creating knowledge in organic farming*. *Electronic Journal of Knowledge Management (EJKM)*, vol. 10, no. 2, pages 163–182, 2012.
- [Soulignac 12c] V Soulignac, E Lambert, C Roussey, J P Chanet, J L Ermine, J L Paris & O Devise. *A knowledge server for sustainable agriculture : Main computing features*. In 8th International Conference on Web Information Systems and Technologies, 6 pages, Porto , Portugal, 2012.
- [Stoces 16] M Stoces, J Vanek, J Masner & J Pavlík. *Internet of Things (IoT) in Agriculture-Selected Aspects*. *AGRIS On-line Papers in Economics and Informatics*, vol. 8, no. 1, 83 pages, 2016.
- [Stone 15] M L Stone & W R Raun. *Sensing technology for precision crop farming*. In *Precision Agriculture Technology for Crop Farming*, pages 21–54. CRC Press, 2015.
- [Studer 98] R Studer, V R Benjamins & D Fensel. *Knowledge engineering : principles and methods*. *Data & knowledge engineering*, vol. 25, no. 1, pages 161–197, 1998.
- [Sun 15] J Sun, G De Sousa, C Roussey, J P Chanet & K M Hou. *The Internet of Things for Environment : Ontology-based Decision Support*

-
- System (DSS) coupled with a Wireless Sensor Network (WSN)*. In The 11th Summer School on Ontology Engineering and the Semantic Web, Bertinoro, Italia, 2015.
- [Sun 16] J Sun, G De Sousa, C Roussey, J P Chanet, F Pinet & K M Hou. *A New Formalisation for Wireless Sensor Network Adaptive Context-aware System : application to an environmental use case*. In SENSORCOMM, Nice, France, 2016.
- [Tassin 11] J Tassin. *Quand l'agro-écologie se propose d'imiter la nature*. Le Courrier de l'Environnement de l'INRA, vol. 61, pages 45–53, 2011.
- [Tavli 12] B Tavli, K Bicakci, R Zilan & J M Barcelo-Ordinas. *A survey of visual sensor network platforms*. Multimedia Tools and Applications, vol. 60, no. 3, pages 689–726, 2012.
- [Thelen 05] J Thelen, D Goense & K Langendoen. *Radio wave propagation in potato fields*. In 1st Workshop on Wireless Network Measurements, Seoul, Korea, 2005.
- [Tisseyre 12] B Tisseyre. *Peut-on appliquer le concept d'agriculture de précision à la viticulture ?* Habilitation à Diriger les Recherches, Montpellier SupAgro, Montpellier, France, 2012.
- [Valente 07] A Valente, R Morais, C Serodio, P Mestre, S Pinto & M Cabral. *A ZigBee Sensor Element for Distributed Monitoring of Soil Parameters in Environmental Monitoring*. In IEEE Sensors, Atlanta, USA, 2007.
- [Valente 11] J Valente, D Sanz, A Barrientos, J Cerro, Á Ribeiro & C Rossi. *An air-ground wireless sensor network for crop monitoring*. Sensors, vol. 11, no. 6, pages 6088–6108, 2011.
- [Vellidis 08] G Vellidis, M Tucker, C Perry, C Kvien & C Bednarz. *A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation*. Computers and electronics in agriculture, vol. 61, no. 1, pages 44–50, 2008.
- [Vougioukas 13] S Vougioukas, H T Anastassiu, C Regen & M Zude. *Influence of foliage on radio Path Losses (PLs) for Wireless Sensor Network (WSN) planning in orchards*. Biosystems Engineering, vol. 114, no. 4, pages 454–465, 2013.
- [Voulodimos 10] A S Voulodimos, C Z Patrikakis, A B Sideridis, V A Ntafis & E M Xylouri. *A complete farm management system based on animal identification using RFID technology*. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 70, no. 2, pages 380–388, 2010.
- [Wang 06] N Wang, N Zhang & M Wang. *Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective*. Computers and electronics in agriculture, vol. 50, no. 1, pages 1–14, 2006.

- [Wang 14] J Wang, Y Chen & J P Chanet. *An Integrated Survey in Plant Disease Detection for Precision Agriculture using Image Processing and Wireless Multimedia Sensor Network*. In International Conference on Advanced in Computer, Electrical and Electronic Engineering (ICACEEE 2014), Paris, France, 2014.
- [Wark 07] T Wark, P Corke, P Sikka, L Klingbeil, Y Guo, C Crossman, P Valencia, D Swain & G Bishop-Hurley. *Transforming agriculture through pervasive wireless sensor networks*. Pervasive Computing, IEEE, vol. 6, no. 2, pages 50–57, 2007.
- [Wood 07] L Wood, W M Eddy, W Ivancic, J McKim & C Jackson. *Saratoga : a Delay-Tolerant Networking convergence layer with efficient link utilization*. In Satellite and Space Communications, 2007. IWSSC’07. International Workshop on, Salzburg, Austria, 2007.
- [Xie 07] N Xie, W Wang & Y Yang. *Ontology-based agricultural knowledge acquisition and application*. In Computer And Computing Technologies In Agriculture, volume 1, pages 349–357. Springer, 2007.
- [Xiong 09] S Xiong, L Wang, X Qu & Y Zhan. *Application Research of WSN in Precise Agriculture Irrigation*. In International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT), Wuhan, China, 2009.
- [Xiong 13] J Xiong, Y Zhou, M R Lyu & E F Y Young. *Mdiag : Mobility-assisted diagnosis for wireless sensor networks*. Journal of Network and Computer Applications, vol. 36, no. 1, pages 167–177, 2013.
- [Yurchyshyna 08] A Yurchyshyna, C Faron-Zucker, I Mirbel, B Sall, N Le Thanh & A Zarli. *Une approche ontologique pour formaliser la connaissance experte dans le modele du contrôle de conformité en construction*. In 19ème Journées Francophones d’Ingénierie des Connaissances (IC 2008), Nancy, France, 2008.
- [Zaks 11] D P M Zaks & C J Kucharik. *Data and monitoring needs for a more ecological agriculture*. Environmental Research Letters, vol. 6, no. 1, pages 14–17, 2011.
- [Zhang 12] L Zhang & D Xiao. *Collaborative image compression with error bounds in wireless sensor networks for crop monitoring*. Computers and electronics in agriculture, vol. 89, pages 1–9, 2012.
- [Zhou 14] H Zhou, H Qi, T M Banhazi & T Low. *An integrated WSN and mobile robot system for agriculture and environment applications*. In Mobile and Ubiquitous Systems : Computing, Networking, and Services, pages 30–36. Springer, 2014.
- [Zwaenepoel 97] P Zwaenepoel & J M Le Bars. *L’agriculture de précision*. Ingénieries-EAT, vol. 12, pages 67–80, 1997.

-
- [Zweigenbaum 99] P Zweigenbaum. *Encoder l'information médicale : des terminologies aux systèmes de représentation des connaissances*. Innovation Stratégique en Information de Santé, vol. 2, pages 1–23, 1999.

Table des figures

1	Vue d'ensemble du projet de recherche	5
1.1	Exemple de boucle de contrôle en agriculture de précision [Farmstar 14] . .	11
1.2	Contraintes d'un nœud de WSN [Jacquot 10]	17
2.1	Contexte multi-échelle	25
2.2	Principe de l'estimation des mesures [Jacquot 10]	26
2.3	Évaluation du gain en messages en fonction de la fréquence du signal mesuré [Jacquot 10]	26
2.4	Passerelle de réseau du protocole LiveNCM [Jacquot 09]	28
2.5	Structure de la MIB dans le protocole LiveNCM [Jacquot 09]	28
2.6	Contextualisation du protocole RPL d'après [Chen 13]	30
2.7	Ontologies et niveau d'intéropérabilité [Roussey 11]	33
2.8	Modélisation d'un capteur sans fil dans SSN d'après [Bendadouche 12c] . .	34
2.9	Modélisation de la communication sans fil d'un capteur dans SSN d'après [Bendadouche 12c]	34
2.10	Exemple de machine d'état pour la gestion des inondations par WSN d'après [Sun 16]	36
3.1	Macroscopie des connaissances d'après [Ermine 00]	41
3.2	Exemple de modèle MASK appliqué aux agroéquipements nécessaires à la culture du blé biologique d'après [Soulignac 12a]	42
3.3	Exemple de module ontologique pour constituer une base de connaissances d'après [Roussey 13]	43
3.4	Outil collaboratif développé pour gérer des connaissances en agriculture biologique [Soulignac 12c]	44
3.5	Principe de la transformation d'une source de type thésaurus en base de connaissances d'après [Amarger 15b]	46
3.6	Principe de la fusion de bases de connaissances d'après [Amarger 15b] . . .	46
3.7	Prise en compte du contexte dans la conception des modèles et des règles de décision	47
2.1	Perspectives des recherches	87

Liste des tableaux

2.1	Représentation du contexte en fonction de l'échelle pour les différentes thèses	37
3.1	Synthèse des publications depuis 2003	65

Liste des acronymes

*"Chaque science, chaque étude a son jargon
inintelligible, qui semble n'être inventé que
pour en défendre les approches."*

Voltaire,

Essais de poésie épique (chapitre I)

A-LLN	Agricultural Low power and Lossy Network	IoT	Internet of Things
CAN	Controller Area Network	LiveNCM	LiveNode Non invasive Context-aware and Modular management
DAG	Directed Acyclic Graph	LLN	Low power and Lossy Network
DAO	Destination Advertisement Option	LTP	Protocol Licklider Transmission
DIO	DODAG Information Object	OAD	Outils d'Aide à la Décision
DODAG	Destination Oriented Directed Acyclic Graph	OF	Objective Function
DTN	Delay Tolerant Networking	M2M	Machine to Machine
ETX	Expected Transmission Count	MAC	Media Access Control
FMIS	Farm Management Information System	MASK	Modélisation, Analyse et Structuration de (K)Connaissances
GPS	Global Positioning System	MIB	Management Information Base
IETF	Internet Engineering Task Force	QoS	Quality of Service
IPv6	Internet Protocol version 6	RFC	Requests For Comments
		RFID	Radio Frequency Identification

Liste des acronymes

RPL	Routing Protocol for Low-Power Lossy Networks	TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
SI	Système d'Information	W3C	World Wide Web Consortium
SNMP	Simple Network Management Protocol	WPAN	Wireless Personal Area Network
SSN	Semantic Sensor Network Ontology	WSN	Wireless Sensor Network
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	XML	eXtensible Markup Language
