

ECOTECHS'2011

Réseau de capteurs sans fil pour le suivi de l'humidité du sol des vignes

Aurélien Jacquot, Gil De Sousa, Jean-Pierre Chanet, François Pinet
Cemagref, UR TSCF, 24 avenue des Landais 63172 Aubière
aurelien.jacquot@cemagref.fr

Résumé : Les avancées technologiques en électronique embarquée ainsi que sur les communications sans fil, ont permis de développer un nouveau domaine de recherche, les Réseaux de Capteurs Sans Fil. Cette technologie permet, entre autres, de mailler une zone afin d'effectuer des mesures automatiques et de les transmettre à distance à un serveur central. Dans le cadre du projet DISP'eau du 8ème appel du Fond Unique Interministériel (FUI), nous avons choisi cette technologie pour suivre l'évolution de l'humidité du sol pour la vigne. L'objectif est d'alimenter un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'irrigation. Cet article présente le capteur sans fil développé et son déploiement sur site. Après plusieurs mois de collecte de données, un premier bilan de l'expérimentation est dressé.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, humidité du sol, outil d'aide à la décision, gestion de l'irrigation de la vigne

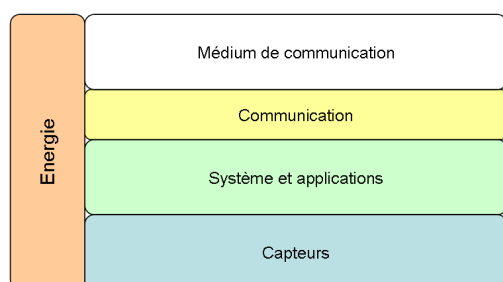
Introduction

Depuis toujours, la viticulture cherche à produire plus et mieux afin de préserver la renommée des vins au plus haut sur le marché mondial. Pour atteindre les niveaux de qualité souhaités, les vignes sont surveillées, traitées et irriguées [1]. L'exploitant souhaite surveiller et gérer l'humidité du sol au mieux afin d'apporter, au moment propice, ce qu'il faut à la plante. En effet, pour améliorer la quantité et surtout la qualité des vins, un stress hydrique moyen est nécessaire. Malheureusement, avec un apport d'eau trop important, des maladies (mildiou, oidium, etc.) peuvent apparaître. À ce jour, malgré l'existence de capteurs plus ou moins onéreux, le viticulteur ne peut suivre efficacement sa parcelle et ne dispose ni de méthodes et ni d'outils lui permettant de contrôler efficacement son irrigation. Dans le cadre du projet FUI DISP'eau, nous proposons un outil permettant la collecte automatique des mesures d'humidité. Nous avons développé une plateforme de réseau de capteurs sans fil adaptée pour effectuer des relevés périodiques de l'humidité du sol. Ces relevés pourront ensuite être utilisés pour alimenter les modèles d'aide à la décision proposés par la société ITK [2] afin de fournir à l'exploitant des préconisations concernant l'irrigation. Nous présentons, ici, cette plateforme, les résultats obtenus ainsi que les problématiques rencontrées et leurs solutions.

Plateforme de collecte de données automatisée

Les Réseaux de capteurs sans fil : définition

Pour répondre aux besoins spécifiques du projet, nous avons opté pour la technologie des Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF) [3]. Cette technologie s'appuie sur un maillage plus ou moins fin de la zone d'observation via des Capteurs Sans Fil (CSF) ou nœud du réseau. Ces systèmes peuvent être modélisés selon la Figure 1. Ils disposent d'une unité de traitement plus ou moins puissante avec une mémoire interne. Les capteurs sont interfacés



avec cette dernière. En comparaison avec les solutions classiques d'enregistreur de données, les CSF disposent d'un médium de communication sans fil permettant de transmettre à distance les informations collectées. Par ailleurs, la technologie des RCSF évolue dans un environnement à fortes contraintes (autonomie, perturbations, milieux

Figure 1: Modélisation simplifiée d'un capteur
sans fil

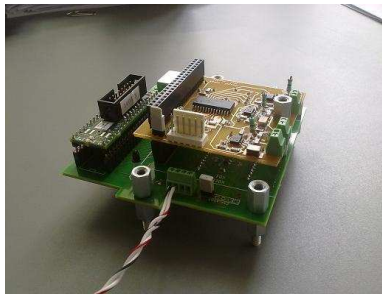
hostiles...). Il est donc nécessaire de préserver l'énergie et de fournir des mécanismes de tolérance aux pannes, pour rendre robuste et autonome la solution.

Après un rapide tour d'horizon des solutions existantes, une seule avait retenu notre attention : la plateforme eKo de la société Memsic (ex-Crossbow) [4]. Elle propose des nœuds autonomes, d'un point de vue énergétique grâce à l'utilisation d'un panneau solaire, et des capteurs d'humidité du sol. Malheureusement, nous n'avons pas pu retenir cette solution car elle ne permet pas d'adapter les fréquences de mesure à distance et les données à nos besoins. Il a donc été décidé de concevoir notre propre solution de RCSF.

Un nouveau capteur sans fil : LiveNode

Fruit d'une collaboration de plusieurs années avec le laboratoire d'informatique LIMOS de Clermont-Ferrand [5], nous avons pu développer une solution complète de collecte automatique de mesures à distance. Ce capteur sans fil s'appuie sur un processeur à cœur ARM7TDMI pouvant fonctionner de 500Hz à 50MHz ainsi que des mémoires internes Flash (256ko) et RAM (64ko). Avec un tel processeur, il est alors possible de réaliser des pré-traitements au niveau des nœuds afin d'effectuer un premier filtrage des données. Pour la communication entre les nœuds et la station centrale de collecte, nous avons misé sur la technologie ZigBee IEEE802.15.4 [5] qui peut atteindre plusieurs kilomètres de portée avec un débit faible et une consommation énergétique contrôlée. Le Tableau 1 reprend les caractéristiques détaillées du nœud développé.

Tableau 1: Caractéristiques techniques d'un LiveNode

Processeur Fréquence	AT91SAM7S256 RISC 32bits 500Hz à 50MHz	
Mémoires - Flash - RAM	256 ko 64 ko	
Médium sans fil Caractéristiques	Zigbee IEEE802.15.4 300 à 1600 m de portée	
Type d'alimentation	Piles rechargeables (3*1.2V AA) Panneau solaire	
Capteurs embarqués	Batterie, luminosité, température Extensions possibles	

La particularité de cette plateforme est sa modularité. Conçue sur le principe de carte « mère » et carte « fille », il est possible d'adapter le nœud aux applications. Les extensions, ou carte « fille », peuvent être actives ou passives. Les premières embarquent un processeur à basse consommation pour effectuer des traitements et étendre les caractéristiques de la carte « mère » tandis que les secondes ne se contentent que d'utiliser les fonctionnalités existantes de la carte « mère ». Pour exploiter de nouveaux capteurs, il suffit de concevoir la carte « fille » dédiée et de la connecter sur la carte « mère », qui elle est générique. Cette dernière est en charge de gérer le bon fonctionnement de l'ensemble, le réveil des extensions en temps voulu, et enfin de transmettre les données vers la station de collecte. Les communications utilisent un protocole de communication propre au LiveNode. Les entêtes des messages ont été travaillés pour minimiser leur taille tout en augmentant la quantité d'informations contenue. Par exemple, avec seulement 2 octets, il est possible de faire passer les informations concernant le type du message, la priorité du message, le nombre de sauts restants ainsi que le format d'adressage.

Implantation de la solution de collecte de mesures d'humidité du sol

Pour le projet, nous avons opté pour des capteurs tensiométriques Watermark en raison de leur faible coût et de leur simplicité d'utilisation. Une carte « fille » active a donc été conçue pour pouvoir gérer 3 capteurs de ce type afin de suivre l'humidité à 3 profondeurs différentes (30, 60, 100cm). Elle a pour rôle de conditionner le signal du capteur pour ensuite le traiter,

le transformer en valeur de tension hydrique et mettre la donnée à disposition de la carte « mère ». La fréquence d'envoi est fixée à une mesure toutes les 4 heures mais peut naturellement être modifiée à distance pour correspondre à la demande. La surface à surveiller ainsi que la distance entre les nœuds et la station de collecte étant faibles (800m² pour 100m de distance), le RCSF a une topologie en étoile, c'est-à-dire que tous les CSF sont en liaison directe avec la station de collecte. On élimine ainsi le problème de routage des données entre les nœuds. Par ailleurs, pour étudier l'influence du couvert végétal et des tuteurs métalliques des vignes, deux des quatre sites de mesures ont été placés au ras du sol (Figure 2).



Figure 2: Installation des capteurs sans fil sur le site de Pech Rouge de l'INRA de Montpellier

Résultats et discussions

En amont de l'implantation sur le site de Pech Rouge de l'INRA, nous avons mené une série de tests visant à valider la fiabilité et la robustesse du LiveNode en conditions réelles. Pour cela, nous avons mis en place sur le site du Cemagref de Clermont-Ferrand, une expérimentation de mesure similaire à celle qui est déployée. Nous validons ainsi le principe de la mesure, la robustesse face à des conditions climatiques changeantes et les échanges de données avec la station de collecte. Depuis Octobre 2010, le système a connu des températures allant de -10°C jusqu'à 40°C, des clim ats très variés (pluie, grêle, gel, neige, soleil...). Malgré de tels changements et sans changer ses batteries, le nœud est toujours actif et fonctionnel. Son autonomie avec un panneau solaire, et un bon ensoleillement, permet de maintenir un niveau d'énergie convenable. La précision des alarmes restent à améliorer. En effet, nous avons constaté dans certains cas un décalage temporel pouvant atteindre 2 secondes par jour. D'un point de vue communication, le taux de pertes de messages est négligeable : 1 message par mois. Ces résultats préliminaires ont donc permis d'envisager un fonctionnement sur une saison culturale de la vigne.

Les CSF mis en place sur le site de Pech Rouge de l'INRA permettent jusqu'à présent de confirmer les premiers résultats. L'autonomie d'un nœud sans soleil est de 2 mois (sous le couvert végétal) tandis qu'avec du soleil, le niveau d'énergie reste élevé (Figure 3).

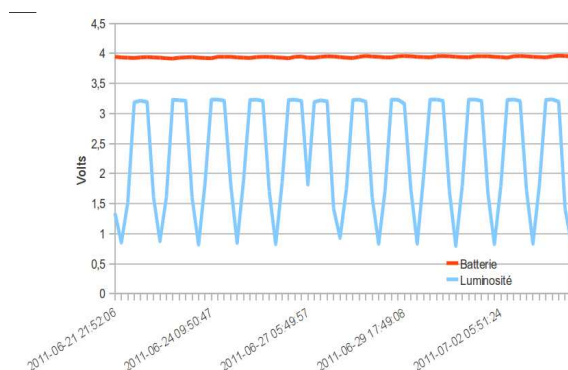


Figure 3: Évolution de la batterie et de la luminosité

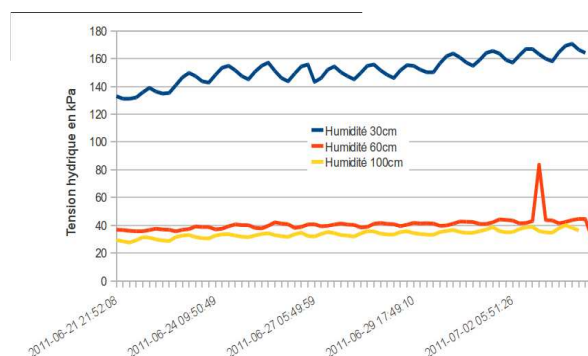


Figure 4: Évolution de l'humidité du sol à 3 profondeurs (30, 60, 100cm)

Concernant les communications sans fil, le taux de pertes de message entre les nœuds et le serveur est négligeable, de l'ordre de 1 à 2 messages perdus par mois (0.7%). Les fréquences de relevés étant largement supérieures aux demandes, il est possible de combler cette perte en utilisant la mesure suivante. Les allures des courbes concordent avec les mesures observées sur l'expérimentation à Clermont-Ferrand ainsi qu'avec les mesures en laboratoire. La Figure 5 présente l'évolution de l'humidité pour un site de mesure. Depuis juin 2011, l'humidité du sol est faible à 30cm et celle à 60cm est bien remontée. Avec des mesures à ces 3 profondeurs, on obtient un profil de l'humidité du sol. Il faut savoir que suivant le type de vigne, les racines peuvent être plus ou moins profondes et longues. Plus l'eau est profonde, plus les racines s'enfonceront et inversement, moins l'eau est profonde et plus elles s'étaleront. Ici, on constate qu'à partir de 60cm de profondeur, le cep de vigne peut trouver de l'eau. Il n'est donc pas nécessaire d'apporter beaucoup d'eau. Pour des vignes où les racines restent en surface, il sera nécessaire d'irriguer la plante pour contrôler le stress hydrique.

L'ensemble des données collectées sont disponibles depuis un outil Web hébergé directement sur le serveur de collecte.

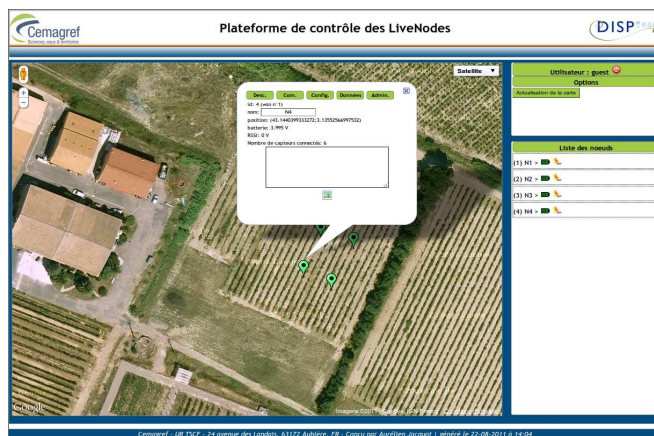


Figure 5: Interface Web de contrôle d'un RCSF

Cet outil, présenté par la Figure 5, offre la possibilité de visualiser les données du RCSF ainsi que son état. L'utilisateur, via cette interface, a la possibilité de suivre l'état de son réseau à distance afin de prévoir à l'avance ces opérations de maintenance. L'exemple typique est le changement des piles. L'outil informe l'utilisateur du niveau d'énergie de chaque nœud dans la colonne de droite. Dès qu'on a un changement de couleur de l'icône de pile (verte, jaune, rouge, vide), il faut prévoir une opération de maintenance dans un avenir proche.

Conclusion

Depuis mars 2011, l'application de collecte de mesures automatisées est en place et toujours fonctionnelle. Après de multiples tests que ce soit d'un point de vue mécanique, logicielle ou communication, les résultats montrent que la solution RCSF est viable pour suivre à distance l'humidité du sol d'une culture, ici la vigne, sur une saison culturale. Il est évident qu'une évaluation plus fine des mesures et notamment leur impact sur l'outil d'aide à la décision sera nécessaire pour totalement valider la précision de la chaîne d'acquisition.

La suite du projet consistera donc à utiliser les données collectées pour alimenter les modèles d'aide à la décision de la société ITK. Leur retour permettra de mieux préparer la saison prochaine en amenant les modifications nécessaires aux capteurs sans fil. Désormais, l'objectif est de laisser fonctionner l'application sur plusieurs saisons afin d'évaluer la robustesse du système et sa capacité à passer les périodes automne/hiver moins favorables en terme d'ensoleillement mais plus propices aux variations d'humidité du sol.

Bibliographie

- [1] Journal officiel de la République Française, Décret n°2006-1527 du 4 décembre 2006 relatif à l'irrigation des vignobles aptes à la production de vins à appellation d'origine ; Décret n°2008-998 du 23 septembre 2008 modifiant le chapitre IV et créant un chapitre V du titre IV du livre VI du code rural, partie réglementaire
- [2] Société ITK, <http://itkweb.com/>
- [3] Kwong, K.H. et al., 2009. Adaptation of wireless sensor network for farming industries. In Sixth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS). INSS 2009. Pittsburgh, USA, pp. 1-4.
- [4] Société Memsic, <http://www.memsic.com/products/wireless-sensor-networks/environmental-systems.html>
- [5] Hou, K.M. et al., 2007. LiveNode: LIMOS versatile embedded wireless sensor node. Journal of Harbin Institute of Technology, pp.140-144.