

AIDE AU PILOTAGE DES CULTURES

DES TECHNOLOGIES très complémentaires



© B. De Solan - ARVALIS-Institut du végétal

Les capteurs sont utilisés depuis une quinzaine d'années pour ajuster les doses d'intrants aux conditions culturales de l'année. Les principaux développements concernent le pilotage de la fertilisation azotée, de l'irrigation et l'estimation du risque de développement des maladies.

Qu'ils soient portables (NTester), embarqués sur tracteur (NSensor), sur satellite (Farmstar) ou encore sur drones, les capteurs utilisés pour les conseils de fertilisation azotée fonctionnent sur les mêmes principes de base : ils reposent sur le lien entre la teneur en chlorophylle, estimée à partir de mesures de réflectance ou de transmittance, et la teneur en azote de la plante. Mais les contraintes opérationnelles sont fortes pour que les outils soit utilisables. Outre le fait de fournir des données au bon moment pour orienter les décisions,

« **Les stations météorologiques** représentent les capteurs fixes les plus couramment utilisés en agriculture. »

les mesures doivent être fiables et peu influencées par les conditions de mesures, robustes pour résister aux conditions extérieures et économiquement rentables (économies réalisées supérieures ou égales au coût d'achat ou d'amortissement).

Autre particularité, les mesures par capteurs sont rarement utilisables directement pour la prise de décision, elles nécessitent d'être associées à des règles simples (dépassement d'un seuil pour Irrinov) ou à des modèles plus complexes (Farmstar). Les informations recueillies par les capteurs peuvent servir de données d'entrées de ces modèles, comme la température de l'air pour prédire les stades de développement. Elles sont également un moyen de correction des résultats des modèles, c'est le cas, par exemple, avec la mesure de la teneur en eau du sol pour corriger un modèle de bilan hydrique ou un modèle de prévision de rendement. Aujourd'hui, la

première utilisation (intégration des mesures par capteur pour élaborer un conseil) est très large-

ment majoritaire. Mais de nombreux travaux de recherches ont montré l'intérêt de données acquises en temps réel pour corriger les résultats de modèles et leurs prévisions.

Le succès d'un capteur, en vue de développer un outil d'aide au pilotage, repose avant tout sur ses caractéristiques opérationnelles.

Les satellites : une couverture spatiale inégalable

Utilisés depuis plus de 40 ans, les satellites offrent une couverture spatiale unique (le satellite DMC a une largeur d'observation de 650 km) et un coût par hectare imbattable. Les satellites européens Sentinel 2, dont la mise en orbite est prévue d'ici 2016, doivent fournir des images gratuites bien adaptées à une valorisation agricole. Le service Farmstar démontre, depuis 10 ans, la pertinence de ces données dans l'établissement des préconisations. Néanmoins, ils sont sensibles à la couverture nuageuse et leur résolution spatiale de l'ordre de 100 m², bien que compatible avec de nombreuses opérations culturales en grandes cultures, peut être insuffisante pour identifier des phénomènes très localisés.

Le drone et l'ULM : plus de précision à la parcelle

Plus réactifs, plus proches et avec des images plus fines (jusqu'à 1 cm² de résolution au sol), le drone et l'ULM sont des solutions intéressantes pour identi-

De l'exploitation au territoire

L'objectif du projet CROCUS (financement CASDAR, ARVALIS, INRA, Irstea, Cap2020, Acolyance) est de concevoir, mettre en œuvre et évaluer un système d'information complet, allant de l'installation d'un réseau de capteurs sans fil opérationnel, jusqu'au conseil à l'agriculteur ou au technicien. Mis en œuvre en Champagne-Ardenne, ce projet évaluera l'intérêt technique et économique de cette technologie pour l'amélioration du conseil. Les cas d'application prévus concernent le suivi de l'état hydrique et thermique du sol et le développement des cultures, notamment pour la prévision du risque de développement des ravageurs, l'actualisation du risque de verse et la prévision du rendement.

fier ou quantifier des accidents de cultures (dégâts de gibier, faible densité de plantes due au gel ou à des excès d'eau, ...).

La cartographie des adventices est également une application intéressante si elle est réalisée de manière précoce. La nécessité d'un opérateur, les contraintes réglementaires et le traitement d'importants volumes d'images rendent ces données plus

BIOMASSE ET AZOTE : une gamme de capteurs variée

Fournisseur	Produit	Vecteur	Longueurs d'ondes	Dépendant de la lumière solaire	Estimation de la fraction de couverture verte (biomasse)	Estimation de la teneur en chlorophylle (azote)
Trimble	GreenSeeker	Tracteur, visée verticale	Rouge, PIR*	Non	+	-
Holland Scientific	Crop Circle	Tracteur, visée verticale	Rouge, PIR, red edge	Non	+	+
Yara	NSensor	Tracteur, visée oblique	Nombreuses	Oui	++	++
Yara	NSensor ALS	Tracteur, visée oblique	Nombreuses	Non	++	++
Fritzmeier	Isaria	Tracteur, visée verticale	5 longueurs d'onde	Non	++	++
Topcon	CropSpec	Tracteur, visée oblique	Red edge, PIR	Non	-	+
Airinov	AgroSensor	Drone, visée verticale	4 bandes dans visible, red edge, PIR	Oui	+	+
Sensilize	Robin	Drone, visée verticale	6 bandes dans visible, red edge, PIR	Oui	+	+

* : proche infra-rouge

Tableau 1 : Principaux capteurs à installer sur tracteur ou drone disponibles en 2014. L'intérêt de ces capteurs dans le conseil agronomique n'est pas ici évalué.

RÉSEAU DE CAPTEURS : une collecte automatisée des données

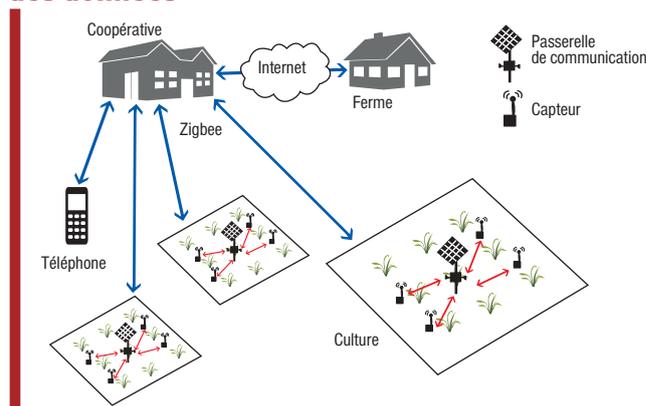


Figure 1 : Schéma simplifié du fonctionnement des réseaux de capteurs sans fil (d'après Garcia-Sendry et al., 2011).

coûteuses et limitent, pour le moment, l'extension en surfaces de ce type de vecteur.

Des applications en temps réel sur tracteur

Installer des capteurs sur un tracteur est une solution qui semble aller de soi, notamment en raison de la proximité avec la culture. Il est possible de combiner directement la mesure obtenue à l'application de produits (fertilisant, désherbant). Cette application directe empêche cependant la combinaison de plusieurs sources d'information, limitant les possibilités de calculs complexes. Autre contrainte : le coût important des capteurs est amorti sur une surface plus faible, d'où un coût à l'hectare généralement plus élevé, sauf dans les très grandes structures.

Par ailleurs, le GPS rend possible l'utilisation sur le terrain de cartes de préconisation élaborées,

ainsi que la mise en œuvre de techniques nécessitant une grande précision, comme le binage (1).

Voir ce qui n'est pas visible d'en haut

Si les capteurs précédemment cités offrent une bonne vision du développement des cultures, ils n'apportent pas d'information sur l'état du sol et du climat. Des capteurs au sol sont alors nécessaires. Les stations météorologiques représentent les capteurs fixes les plus couramment utilisés en agriculture. En deuxième position viennent les capteurs de potentiel hydrique ou de teneur en eau des sols pour le pilotage de l'irrigation. Ces capteurs sont généralement équipés de systèmes de transmission de données sans fil (radio, GSM). Aujourd'hui, de nouveaux systèmes de transmission sans fil offrent des perspectives intéressantes pour densifier spatialement et temporellement les observations de terrain. C'est le cas des normes LoRa et Zigbee ou encore du réseau Sigfox, qui a pour objectif de couvrir



Avec Farmstar, la dose du dernier apport d'azote est réévaluée fin montaison et adaptée aux besoins de la culture en tout point de la parcelle.

de larges territoires via la remontée d'informations issues d'objets communicants.

Vers un système d'information complet

Acquérir de manière très régulière des observations au cœur des parcelles et les valoriser en éléments d'aide à la décision pour l'ensemble des parcelles d'un territoire est un élément essentiel pour faciliter le travail des acteurs du monde agricole. A ce titre, les Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF) sont prometteurs car complémentaires aux solutions existantes (satellites, capteurs embarqués, stations météorologiques), présentant des résolutions spatiales ou temporelles trop faibles.

Un capteur sans fil (CSF) est un système électronique intelligent équipé d'un module de communication et de différentes sondes (capteurs de grandeur physique). Regroupés en réseau, les CSF transmettent leurs mesures en continu à une station de collecte (figure 1). Les RCSF présentent de nombreux intérêts : transmission automatique et programmable des données, adaptation de la densité de capteurs à la zone géographique en fonction de la variabilité, positionnement des capteurs facilement modifiable en cours de saison et au plus proche de la culture,

coût de fonctionnement minime, intégration dans les outils d'aide à la décision, suivi quotidien de la croissance des cultures, etc.

Des conseils au plus près des besoins des cultures

Ces différentes technologies sont très complémentaires. Aujourd'hui, un des enjeux essentiel est de combiner ces sources de données pour apporter un conseil plus personnalisé, plus complet et plus rapide, à un coût compatible avec le bénéfice attendu. Un seul opérateur ne peut prétendre maîtriser l'ensemble des systèmes d'acquisition, ni leur intégration au sein d'outils. Leur combinaison nécessite une description claire de leur format et une bonne accessibilité (interopérabilité des différentes sources de données et de modèles). La mutualisation des ressources est un enjeu essentiel pour apporter un service pertinent à un coût raisonnable.

[1] Voir *Perspectives Agricoles* n°386, février 2012, p. 14.

Benoît de Solan - b.desolan@arvalisinstitutduvegetal.fr
Mathilde Closset - m.closset@arvalisinstitutduvegetal.fr
Caroline Desbourdes - c.desbourdes@arvalisinstitutduvegetal.fr
ARVALIS - Institut du végétal