

ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE CULTURE

DE NOUVEAUX OUTILS

pour une agriculture performante



Mieux comprendre le fonctionnement des cultures et des systèmes de culture a en ligne de mire la double performance économique et environnementale. Les technologies mises en œuvre dans les capteurs ouvrent de nouvelles voies pour l'atteinte de cet objectif.

Stabiliser les rendements, améliorer la rentabilité, réduire le recours aux intrants font partie des enjeux actuels de la production agricole.

En pratique, il s'agit notamment de favoriser la fertilité des sols et de limiter les impacts des bio-agresseurs en tirant le meilleur parti des interactions entre les organismes vivants, à l'œuvre dans tout écosystème : compétition, prédation, décomposition, parasitisme et symbiose.

Ces processus se déroulent à des échelles spatiales et temporelles

différentes de celles généralement considérées pour le pilotage d'une culture annuelle. Se situer à l'échelle du système de culture implique de prendre en compte l'environnement des parcelles, les éléments du paysage, les réservoirs d'auxiliaires et d'analyser sur un temps plus long

les processus biologiques et chimiques (biologie des sols, équilibre entre les populations animales et végétales).

Concevoir de nouveaux outils d'acquisition de références

Évaluer les performances agronomiques et environnementales des systèmes de culture nécessite d'étudier, à une échelle annuelle et pluriannuelle, les multiples interactions entre

les cultures, entre les techniques mises en œuvre et leurs effets sur l'agro-

« **Il est envisageable**, dans l'avenir, de mieux comprendre l'environnement chimique, olfactif ou sonore d'une culture. »

écosystème. Au vu de la complexité de ce suivi et de la grande taille des parcelles, de nouveaux outils d'observation sont nécessaires pour mieux décrire le fonctionnement du système de culture et offrir des éléments objectifs d'analyse des performances agro-environnementales. Certains de

ces outils, faisant notamment appel à des capteurs, sont déjà mis en œuvre pour apporter des éléments d'analyse complémentaires par rapports aux techniques de mesure habituellement utilisées en petites parcelles d'essai (biomasse, azote absorbé, densité d'adventices, quantification des maladies).

Ainsi, les images aériennes à haute résolution spatiale, fournies par des capteurs embarqués sur drones ou ULM, offrent des informations utiles à deux niveaux. En premier lieu, ces observations précises donnent la possibilité d'établir une cartographie en relief des parcelles et du paysage les environnant. Il s'agit d'un niveau de description nécessaire pour modéliser les flux d'eau, de matières actives et les structures paysagères pouvant expliquer des mouvements de la micro ou macrofaune. D'autre part, les informations apportées par les images aériennes améliorent, en les complétant, l'échantillonnage des mesures de terrain (biomasse, adventices, maladies) sur des parcelles de grandes tailles. L'évaluation des systèmes de culture s'en trouve facilitée.

Quantifier les impacts des pratiques sur l'environnement

Un bilan environnemental complet de l'azote dans l'eau et dans l'air peut être réalisé grâce à l'utilisation de capteurs. Dans le cadre de l'analyse du cycle de l'azote, les « bougies poreuses » (tube constitué de parois poreuses inséré dans le sol pour recueillir l'eau sur des périodes choisies) sont un moyen efficace de prélever, de manière non destructive, la solution du sol pour une analyse en laboratoire. Plus récemment, des travaux communs entre ARVALIS et l'INRA ont permis de mettre en œuvre des capteurs d'ammoniac, pour quantifier les pertes par volatilisation en fonction de l'itinéraire technique (1).

Les « bougies poreuses », un moyen de prélèvement d'échantillons d'eau du sol, pourraient être remplacés par des capteurs effectuant directement des mesures au champ.



© ARVALIS-Institut du végétal

Une UMT pour répondre aux nouveaux défis de l'agriculture

Les innovations sont souvent liées à l'amélioration des moyens de détection et de mesure. La mise au point de nouveaux capteurs et l'analyse des données collectées sont un enjeu important pour le secteur agricole. ARVALIS et l'INRA ont depuis 2013 constitué une unité mixte technologique (UMT) à Avignon, en association avec l'ITB, le CETIOM et l'ACTA. La phéno-mobile, le phéno-drone, les réseaux de capteurs sans fil font partie des travaux de cette unité, rassemblant 4 chercheurs, 5 ingénieurs et 3 techniciens. Il s'agit de combiner les connaissances de l'INRA en matière de télédétection et de modélisation avec l'expertise des instituts techniques sur les problématiques et contraintes de terrain pour concevoir des outils utilisables par les différents acteurs du secteur agricole, des chercheurs aux producteurs.

LABORATOIRES AU CHAMP : la technologie existe

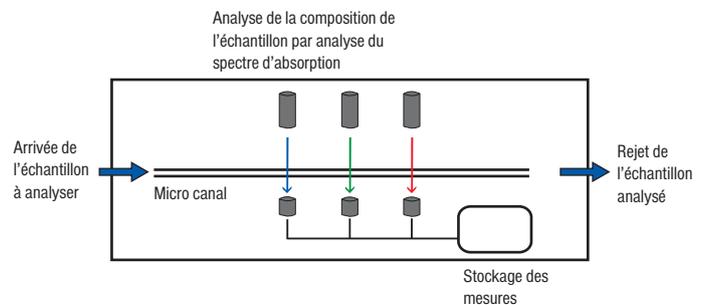


Figure 1 : Schéma de fonctionnement simplifié d'un laboratoire d'analyse miniature de quelques cm² pour l'analyse de gaz.

Les axes de recherches visent à miniaturiser ces capteurs pour mesurer en continu, au champ, l'évolution des teneurs en nitrate, phosphate ou potassium de l'eau du sol. L'objectif est de mieux comprendre les processus biochimiques de mise à disposition des éléments nutritifs aux cultures, plus complexes que lors d'apport d'un engrais minéral. Ces recherches utilisent des capteurs de type ISFET (ion-sensitive field-effect transistor). Leurs composants électroniques laissent passer plus ou moins de courant en fonction de la présence d'une molécule particulière, qui se fixe sur un support adapté. Ils sont aujourd'hui largement utilisés pour mesurer l'acidité de liquides et plusieurs projets ont pour objectif de développer des ISFET pour d'autres espèces chimiques.

La quantification et la description de la biodiversité des micro-organismes présents dans le sol sont des indicateurs importants d'analyse de la fertilité des sols. Ils sont fortement influencés par le type de travail du sol et la gestion des apports organiques. Ces analyses sont réalisées de manière précise grâce à l'étude en laboratoire de l'ADN microbien présent dans des échantillons de sol. Les travaux en cours visent

« Lab on a chip », des laboratoires miniatures

Un « lab on a chip », littéralement « laboratoire sur puce », a pour objectif de miniaturiser des analyses habituellement réalisées en laboratoire. Développés à partir des années 1990, ils font actuellement l'objet d'applications dans de nombreux domaines, notamment par le CEA LETI de Grenoble. En médecine, ils sont utilisés pour analyser à domicile la composition du sang en molécules simples (sodium, magnésium, calcium) ou complexes (protéines, ADN). Les applications dans le secteur agricole sont encore à imaginer, par exemple pour mieux suivre le devenir des fertilisants dans le système sol-air-plante ou mettre en évidence la présence de maladies : détection de composés organiques volatiles ou de molécules complexes émises spécifiquement par un pathogène, détection de gaz (N_2O , NH_3 , ...), caractérisation du fonctionnement du sol (perte d'azote par volatilisation, dénitrification) par l'analyse spectrale de l'air, analyse de la composition chimique de l'eau du sol (nitrates, phosphates), etc. Pour être totalement automatiques et utilisables, ces laboratoires miniatures doivent être composés de 4 éléments : un système de collecte du milieu à analyser (eau du sol, air), un circuit de circulation, un système d'analyse et de détection des molécules cibles et un système de visualisation ou d'enregistrement du résultat (*figure 1*).

à constituer un référentiel technique mais aussi à identifier un ensemble d'indicateurs et de molécules pertinents pour l'évaluation des systèmes de culture. A ce jour, ces indicateurs sont, pour la plupart, tributaires d'analyses en laboratoire. Le développement de puces à ADN, capables de mettre en évidence la présence de séquences d'ADN ou d'ARN spécifiques d'un micro-organisme, permettrait de réaliser ce type d'analyse à l'échelle d'une exploitation agricole et ainsi de mieux connaître le fonctionnement des parcelles.

Demain, de nouveaux systèmes d'alerte

Les systèmes de culture en agriculture biologique possèdent peu de leviers d'action directe au cours

de la campagne culturale. Ils nécessitent une surveillance accrue pour s'assurer du bon équilibre de l'écosystème. Il en va de même, pour les systèmes conventionnels à l'ère de la transition agro-écologique. Cette surveillance pourra dans les années à venir être assistée par des capteurs spécifiques, fonctionnant comme un système d'alerte précoce. Ces détecteurs ne sont pas disponibles actuellement mais les solutions technologiques permettant de les concevoir existent. Le développement des micro-technologies permet de miniaturiser des capteurs généralement utilisés en laboratoire, pour une utilisation directe au champ (*encadré*). C'est le cas, par exemple, des chromatographes qui identifient et quantifient la présence de certaines molécules dans l'air (« nez électroniques », ou encore des microphones miniatures pour détecter des sons émis par les insectes. Leur application en agriculture reste expérimentale mais il est envisageable, dans l'avenir, de mieux comprendre l'environnement chimique, olfactif ou sonore d'une culture. Des composantes vraisemblablement essentielles des interactions entre la culture, les insectes et les maladies, qui ne sont actuellement pas accessibles, ni par nos sens, ni par les capteurs classiques. Dans tous les domaines (astronomie, médecine, objets quotidiens...) les découvertes sont très fortement liées à l'amélioration des moyens d'observation. Les capteurs, par la baisse de leur coût et leur miniaturisation, ont une place importante à jouer dans l'innovation en agriculture.

[1] Voir *Perspectives Agricoles* n°414, septembre 2014, p. 56 et n°411, mai 2014, p. 26.

Benoît de Solan - b.desolan@arvalisinstitutduvegetal.fr

Clotilde Toqué - c.toque@arvalisinstitutduvegetal.fr

Anne-Laure Toupet - al.toupet@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS - Institut du végétal



La puce à ADN « qPFD », brevetée par l'INRA, en cours de transposition sur la pomme de terre, vise à détecter des molécules intervenant dans les mécanismes de défense des plantes.