

PHÉNOTYPAGE

L'EXPÉRIMENTATION dopée par le haut débit

Une plateforme de phénotypage permet d'évaluer, sur le même site, plus de 200 variétés différentes.



Le métier d'expérimentateur est en pleine évolution. Comme d'autres professions, il passe d'un stade « artisanal » à une étape plus industrialisée avec l'arrivée du phénotypage « haut débit ».

Pour augmenter l'acquisition de références, gagner du temps et de la précision, la recherche agronomique a d'abord vu le « haut débit » envahir les laboratoires. En quelques décennies, les progrès bio-

logiques, moléculaires et analytiques, ainsi que ceux en automatique, en robotique et en informatique ont permis de développer des plateformes capables d'acquérir des milliers voire des millions de données. Au lieu de réaliser quelques

analyses à la paillasse, le technicien contrôle désormais des automates. Cette révolution du haut débit arrive maintenant en serre ou au champ avec la mise en place de plateformes de phénotypage comme celles du projet Phénome (1).

Des mesures plus fréquentes et non destructives

Le phénotypage, c'est-à-dire la mesure ou l'observation des caractères d'une plante ou d'un couvert, est pratiqué depuis toujours par les agronomes et les sélectionneurs. Il a émergé comme discipline à part entière en miroir des progrès technologiques en génomique et en biologie moléculaire. Outre ce lien entre la connaissance des gènes et leur expression au champ, le phénotypage haut débit

place le métier d'agronome dans une nouvelle dimension.

Le travail d'expérimentation « traditionnelle » au champ est souvent long et s'appuie sur des mesures ponc-

« Ces travaux résultent toujours d'une association étroite entre les instituts techniques et la recherche publique. »

Les instituts se mobilisent pour approvoiser le haut débit au champ

Les principaux instituts techniques français conduisent des projets portant sur le phénotypage haut débit sur leurs espèces de travail respectives. ARVALIS - Institut du végétal pilote depuis 2010 le projet PhénoBlé pour caractériser la nutrition azotée du blé. Le CETIOM s'intéresse à des systèmes de mesures de l'indice foliaire sur tournesol obtenues avec des drones dans le cadre de l'UMT Tournesol. L'ITB travaille depuis plusieurs années avec l'IRSTEA pour la mise au point d'un engin permettant des mesures régulières d'indice foliaire sur la betterave. Les trois instituts participent également aux différents projets « investissement d'Avenir » qui développent des aspects méthodologiques pour différents caractères. Les efforts sont également partagés et mis en commun, avec l'INRA et l'ACTA dans l'UMT CAPTE pour collaborer dans la mise au point et l'exploration des possibilités offertes par différentes technologies et capteurs.

tuelles et destructives (prélèvement d'échantillons...), il requiert des moyens humains importants et met en comparaison un nombre de modalités souvent limité.

Avec le haut débit au champ, les modalités comparées vont pouvoir être considérablement plus nombreuses pour une meilleure précision de la caractérisation des plantes et des milieux étudiés. Les agronomes vont pouvoir aussi bénéficier de mesures plus fréquentes, à des échelles plus fines que la parcelle.

« Avec le haut débit au champ, les modalités comparées vont pouvoir être considérablement plus nombreuses pour une meilleure précision de la caractérisation des plantes et des milieux étudiés. »

Les premiers résultats des projets mettant en œuvre cette nouvelle technologie d'acquisition confirment les espoirs qu'elle porte. Le projet PhénoBlé par exemple, conduit par ARVALIS - Institut du végétal depuis 2010, développe des méthodes d'observation à haut débit de la nutrition azotée du blé. L'accélération du débit de mesure donne ici accès à des dynamiques de surfaces vertes tout au long du cycle de la culture. Les variables en question sont très reliées aux objectifs de sélection

comme le rendement ou l'absorption d'azote. Surtout, elles sont très « héréditaires » : cette notion, chère aux sélectionneurs, permet de quantifier à quel point le caractère mesuré est déterminé génétiquement, autrement dit à quel point il peut être efficacement sélectionné. La promesse du phénotypage haut débit pour améliorer les caractères complexes comme le rendement ou la valorisation de l'azote semble donc réelle.

Des outils issus des sciences physiques

Le phénotypage haut débit fait appel à un certain nombre de techniques, empruntées à la physique notamment. Parmi celles-ci, les techniques d'imagerie, simple photographie numérique dans le visible ou de type multi ou hyper-spectrales, se sont développées ces vingt dernières années. La mesure de réflectance par une plante ou un couvert de différentes longueurs d'onde de la lumière permet, par exemple, d'estimer différents paramètres agronomiques tels que la biomasse, la surface foliaire, la surface verte, la teneur en tel ou tel élément. Les images peuvent également générer des synthèses en 3D permettant d'apprécier d'autres paramètres comme l'architecture du couvert. Selon les applications, leur utilisation peut se faire à partir de différents vecteurs, allant du satellite à l'expérimentateur piéton, en passant par l'avion ou les drones aériens ou terrestres (2). Pour l'expérimentation de plein champ, on s'oriente vers des vecteurs de proximité, drones ou véhicules spécifiques, afin d'obtenir des résolutions d'image suffisamment précises. Les premiers essais conduits par le CETIOM avec des drones ou par ARVALIS - Institut du végétal avec la « Phénomobile » sont prometteurs.



Le projet PhénoBlé a permis de développer une « arche de phénotypage » : bardée de capteurs, elle est tractée sur les micro-parcelles pour prendre un ensemble de mesures.

© A. Fourme, ARVALIS - Institut du végétal



Les images peuvent générer des synthèses en 3D permettant d'apprécier d'autres paramètres comme l'architecture du couvert.

La modélisation, un réel complément du phénotypage

La modélisation de la croissance des cultures est un outil très complémentaire à utiliser en synergie avec les techniques de phénotypage haut débit. Si ces dernières fournissent des données en grand nombre, qui peuvent contribuer à améliorer les modèles, elles s'appliquent sur des combinaisons lieux x années limitées. La modélisation, sous réserve de ne pas s'éloigner de son domaine de validité, permet d'explorer virtuellement des conditions de milieux beaucoup plus diverses. Mais il reste encore beaucoup à faire en couplant travaux au champ et en conditions contrôlées. Les premiers résultats sont prometteurs (réponse au stress hydrique du maïs ou du tournesol par exemple). L'INRA, en collaboration avec des sélectionneurs, a montré que la réponse de la croissance des feuilles de maïs au stress hydrique était très explicatif du nombre de grains observés (évolution en serre dans un réseau de 14 essais avec 19 hybrides). Sur tournesol, les travaux conjoints de l'INRA et du CETIOM ont abouti au modèle SUNFLO: intégration des aspects génotypiques liés au fonctionnement en condition de stress hydrique et des éléments d'architecture des différentes variétés. Ce modèle permet des études d'interactions génotypes x milieux x conduites ou de prévisions de rendement à différentes échelles. D'autres outils de même type sont en cours de développement pour d'autres espèces comme le blé, le colza, la betterave ou le pois. Ces travaux résultent toujours d'une association étroite entre les instituts techniques et la recherche publique, principalement l'INRA.

« Plusieurs plateformes de phénotypage racinaire se construisent en France et en Angleterre. »

Au cœur du système racinaire grâce à l'imagerie

D'autres outils, issus de l'imagerie biomédicale, pourraient donner accès à des variables caractéristiques du développement des plantes qui sont difficiles ou chères à acquérir. L'exemple type concerne le système racinaire: peu d'expérimentateurs ont le courage ou les moyens de creuser et d'aller mesurer *in situ* des enracinements de plantes. Pourtant, les phases d'implantation et de qualité de l'enracinement durant les phases végétatives de croissance sont souvent les clefs de la réussite ultérieure d'une culture. Plusieurs plateformes de phénotypage racinaire se construisent en France et en Angleterre par exemple. Si celles-ci restent pour l'instant en conditions contrôlées, ARVALIS – Institut du végétal et l'INRA d'Avignon développent également un projet de recherche sur des outils permettant de mesurer la biomasse racinaire et l'humidité du sol au champ de manière non-destructive.

Les verrous à lever

Mais passer de l'image au caractère agronomique n'est pas simple. C'est pourquoi, les instituts techniques s'impliquent dans de nombreux projets (encadré) pour combler les manques de la « chaîne d'acquisition ». Les travaux de « calibration » de ces systèmes sont particulièrement importants et lourds. Mais ils bénéficient de toute l'expérience acquise en la matière pour développer les outils d'aide à la décision tels que Farmstar. L'autre enjeu concerne les bases de données: ce sont des Téra (1 000 Giga), voire des Péta (1 000 Téra) octets de données qui doivent être gérés. Cette fois-ci, ce sont les développements issus de l'informatique et du data management qui sont mis à profit. Leur traitement constitue un défi majeur pour les organiser et aboutir à des éléments concrets en matière de résultats agronomiques et de gains d'efficacité et de productivité des instituts.

[1] Voir Perspectives Agricoles n° 409, mars 2014.

[2] Voir Perspectives Agricoles n° 410, avril 2014.

Xavier Pinochet - pinochet@cetiom.fr
CETIOM

David Gouache - d.gouache@arvalisinstitutduvegetal.fr
ARVALIS - Institut du végétal