

EXPÉRIMENTATION

Récolte tardive : comment adapter le choix variétal ?

Dans le contexte de fin des quotas, l'allongement des durées de campagne des usines est devenu un levier de compétitivité pour la filière betterave-sucre. L'ITB a mis en place des expérimentations en situation de récolte tardive pour évaluer le potentiel de croissance des variétés au cours de l'automne.

Quatre expérimentations ont été mises en place en 2018 pour comparer le classement des variétés rhizomanie et des variétés spécifiques (nématodes et rhizoctone brun) entre une récolte réalisée fin septembre-début octobre et une récolte réalisée durant la première quinzaine de novembre. Chaque essai variété a donc été doublé sur la même parcelle pour comparer la productivité des variétés entre les deux dates de récoltes. La question qui se pose est de savoir s'il existe des variétés dont la productivité stagne plus vite que d'autres, que ce soit en poids de racines ou teneur en sucre, et à l'inverse d'autres qui permettent un gain de rendement plus élevé. L'itinéraire cultural est le même dans les deux situations, à l'exception de la protection fongicide qui a pu faire l'objet d'un traitement supplémentaire dans l'essai récolté tardivement, conformément aux seuils de traitement IPM.

Gain de productivité au cours de l'automne

L'analyse du gain de poids des racines par jour montre une variabilité de réponse en fonction des sites d'expérimentation. La figure 1 présente les résultats sur chaque site avec la dispersion en fonction des variétés. Le site de Saint-Memmie dans la Marne montre la plus forte progression de poids journalier au cours de l'automne de près de 0,5 t/ha/jour grâce à des pluies tombées sur la parcelle en septembre. A l'inverse, la progression de poids sur le site de Nizy-le-Comte dans l'Aisne est la plus faible (de l'ordre de 0,06 t/ha/jour) en raison de la sécheresse qui a perduré au cours de l'automne. La richesse a, quant à elle, très peu évolué, comme le montre la figure 2. Elle a baissé pour la majorité des variétés sur les sites de Nizy-le-Comte et Saint-Memmie et elle a légèrement augmenté sur les sites d'Arleux-en-Gohelle et Saint-Vaast-lès-Mello.

Comparaison entre variétés

Que ce soit pour la composante de poids ou de richesse, pour les variétés tolérantes à la rhizomanie ou les variétés spécifiques, il n'existe pas d'effet variétal significatif sur la progression de rendement au cours de l'automne d'après les résultats de ces quatre expérimentations. Il n'est donc pas possible d'établir un classement de variétés recommandées en situation de récolte tardive basé sur la progression de rendement au cours de l'automne. Ces résultats confirment les premières analyses faites en 2017 sur deux expérimentations.

Impact de la cercosporiose

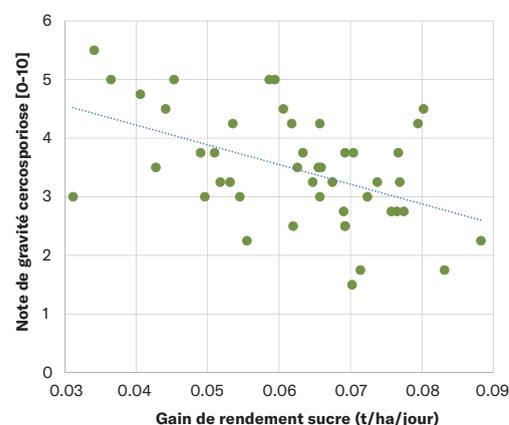
En dehors du stress hydrique, c'est la cercosporiose qui a marqué ces essais, avec des niveaux de gravité variables selon les sites. Les essais de Nizy-le-Comte et Saint-Memmie présentent une forte infestation.

Sites d'expérimentation conduits en 2018 pour comparer la croissance des variétés au cours de l'automne

Site expérimental	Date de la 1 ^{re} récolte	Date de la 2 ^e récolte
Nizy le Comte (02)	24 septembre	6 novembre
Saint-Memmie (51)	19 septembre	9 novembre
Arleux-en-Gohelle (62)	8 octobre	15 novembre
Saint-Vaast-lès-Mello (60)	25 septembre	14 novembre

Impact de la cercosporiose sur le gain de sucre au cours de l'automne (figure 3)

Essais de Saint-Vaast-lès-Mello



Les points représentent les 47 variétés tolérantes à la rhizomanie évaluées en expérimentation. Une note de gravité cercosporiose de 10 correspond à 100 % de feuilles touchées.

CHIFFRE CLÉ

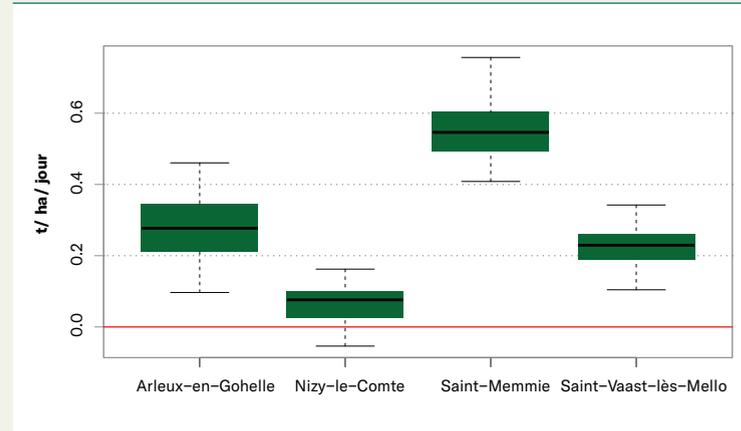
4

C'est le nombre d'essais mis en place en 2018 pour évaluer les variétés en situation de récoltes tardives.

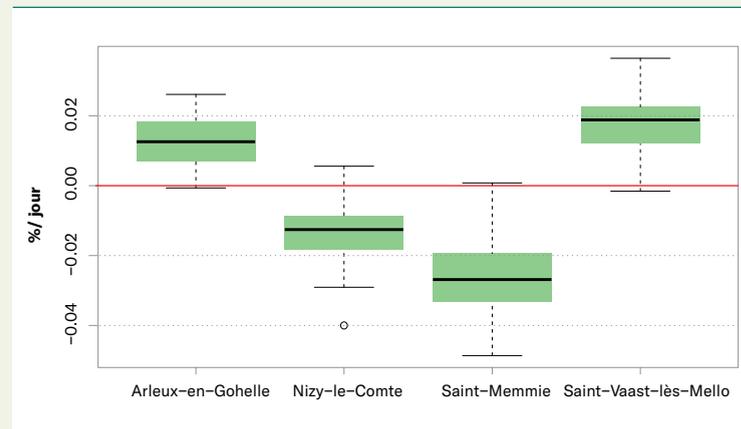
A l'inverse, le site d'Arleux-en-Gohelle n'a quasiment pas été touché et le site de Saint-Vaast-lès-Mello dans l'Oise présente un niveau de gravité intermédiaire. Les analyses statistiques révèlent un effet significatif du niveau de cercosporiose sur la progression de rendement : principalement sur la richesse pour les variétés rhizomanie, et sur le poids et la richesse pour les variétés spécifiques. La figure 3 illustre ce résultat. Même sur le site de Saint-Vaast-lès-Mello qui présente un niveau de gravité intermédiaire, les variétés qui présentent les notes de gravité les plus faibles sont celles qui montrent la plus forte progression de sucre par hectare au cours de l'automne. L'allongement des durées de campagne remet donc au premier plan l'importance de maintenir un bon état sanitaire de la culture en situation de récoltes tardives par l'implantation d'une variété tolérante aux maladies foliaires prédominantes et le renforcement de la protection fongicide si nécessaire, en conservant les seuils de traitement préconisés.

« En situation de récolte tardive, privilégier des variétés résistantes aux maladies du feuillage »

Gain de poids racines au cours de l'automne sur les 4 expérimentations suivies en 2018. Cas des variétés rhizomanie (figure 1)



Gain de richesse au cours de l'automne sur les 4 expérimentations suivies en 2018. Cas des variétés rhizomanie (figure 2)



CONSEILS DE SAISON

Sensibilité variétale aux maladies foliaires

L'année 2018 est une nouvelle fois marquée par une forte pression cercosporiose dans les zones à risque (Alsace, Champagne, Limagnes, Centre - Val-de-Loire, Ile-de-France) mais également en bordure de ces zones historiques, Hauts-de-France en particulier. Le climat chaud et humide du mois de juin a été très favorable au démarrage des cycles épidémiques, qui n'ont pas été freinés par le climat sec qui a suivi. Comme cela a déjà été démontré dans la page précédente, pour lutter contre la cercosporiose, la résistance variétale est le levier de base complété par la protection fongicide. Ceci est d'autant plus vrai que des pertes d'efficacité des fongicides sont observées depuis quelques années en France, en particulier pour les strobilurines, mais également dans une moindre mesure pour les triazoles, rendant le contrôle de cette maladie de plus en plus difficile. Cette situation incite au report vers des molécules à action multi-sites comme le cuivre. Un produit à base d'oxychlorure de cuivre (nom commercial YUCCA) donne des résultats satisfaisants mais son autorisation d'utilisation doit être renouvelée chaque année dans le cadre d'une dérogation pour urgence phytosanitaire de 120 jours.

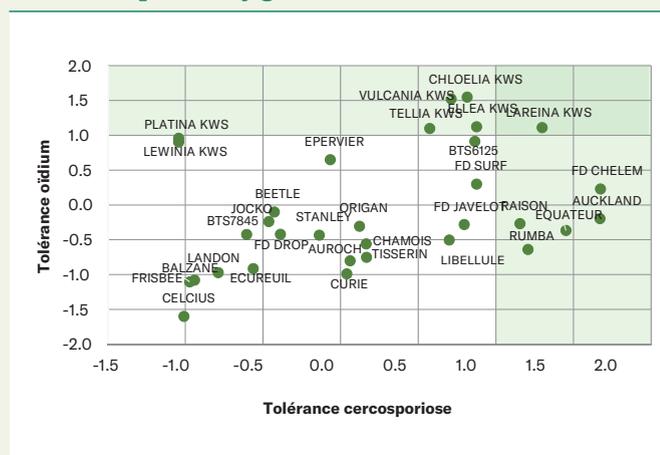
La tolérance variétale est donc un critère essentiel à prendre en compte en zone historique à risque et en situation de récolte tardive. Les figures 1 et 2 présentent les tolérances variétales à l'oïdium et à la cercosporiose. Pour plus de détail, le précédent cahier technique BF n°1083 présente les tolérances variétales aux différentes maladies foliaires.

ERRATUM

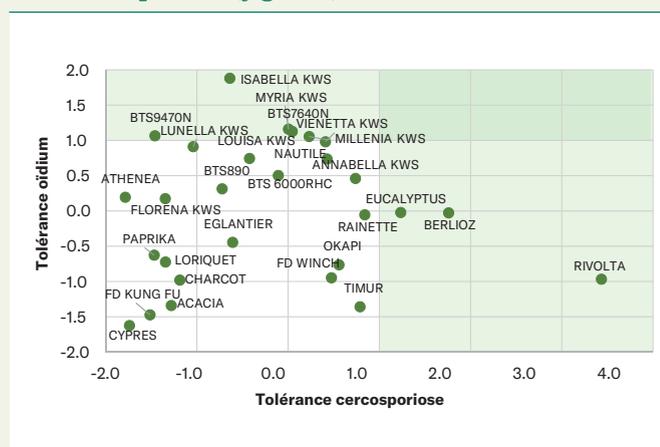
Une erreur s'est glissée dans le tableau des pages centrales du précédent cahier technique. Les performances des variétés nématodes en terrain sain sont corrigées dans le tableau suivant. La productivité en terrain infesté, rappelée ici en dernière colonne reste inchangée.



Tolérances des variétés rhizomanie à l'oïdium et la cercosporiose (figure 1)



Tolérances des variétés spécifiques (nématodes et rhizoctone brun) à l'oïdium et la cercosporiose (figure 2)



Pour chaque maladie, les variétés présentes dans la zone verte ont un comportement de résistance permettant de limiter la progression de la maladie (note supérieure à 1).

LES CEPP, POUR VALORISER LES RÉSISTANCES VARIÉTALES AUX MALADIES FOLIAIRES

Les variétés de betteraves tolérantes aux maladies foliaires pourront dès 2019 prétendre aux certificats d'économie de produits phytosanitaires (CEPP). Les CEPP figurent parmi les actions du plan Ecophyto II+, dont l'objectif est de réduire l'utilisation de produits phytosanitaires. L'ITB et le GEVES, en concertation avec les acteurs de la filière betterave-sucre qui siègent dans la commission maladie du CTPS, ont déposé une fiche action « Utiliser des variétés tolérantes aux maladies foliaires pour réduire le nombre de traitements fongicides en betterave sucrière », qui fera prochainement l'objet d'un arrêté par le Ministère de l'Agriculture. Chaque distributeur a une obligation de réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires. L'éligibilité des variétés de betterave est basée sur les notations de résistances mesurées chaque

année par l'ITB sur un réseau d'expérimentations sans protection fongicide. Les variétés éligibles sont classées dans trois catégories, peu sensibles, tolérantes et très tolérantes. Les quatre maladies foliaires de la betterave sont concernées : cercosporiose, oïdium, rouille et ramulariose. Un potentiel d'économie en produits phytosanitaires est attribué à chaque catégorie, selon les maladies et les surfaces concernées par chacune d'elles. Une variété combinant plusieurs résistances présente un plus fort potentiel d'économie de produits phytosanitaires. Pour être éligible, une variété ne doit par ailleurs pas présenter de sensibilité forte à l'une des quatre maladies. La liste des variétés éligibles et leurs CEPP par unité de semences vendues seront prochainement disponibles sur le portail EcophytoPIC. Elle sera actualisée chaque année par la commission maladie du CTPS.

Caractéristiques des variétés rhizomanie nématodes. Résultats des essais ITB-SAS exprimés en % des témoins

	Variétés	Sociétés	Terrain sain			Terrain infesté	
			Rendement racine	Richesse saccharine	Qualité industrielle sm/pol	Productivité	Productivité
3 ans	LORIQUET	Florimond Desprez	100.5	98.3	101.3	98.5	98.4
	LOUISA KWS	KWS France	99.2	100.6	97.1	99.8	102.4
	MILLENIA KWS	KWS France	101.7	99.8	96.1	101.3	102.5
	VIENNETA KWS	KWS France	100.3	99.8	96.8	100.1	100.8
	ACACIA	SESVanderhave	103.0	95.8	106.1	97.6	98.3
	ANNABELLA KWS	KWS France	103.3	100.2	97.1	103.4	105.2
	BTS7640N	Betaseed	100.1	100.0	95.9	100.0	101.9
	BTS890	Betaseed	101.3	99.5	97.3	100.9	102.4
	BTS9470N	Betaseed	103.0	98.1	100.1	100.6	102.8
	CHARCOT	Deleplanque	95.7	101.0	98.3	96.9	99.4
FLORENA KWS	KWS France	100.7	98.8	99.1	99.3	100.9	
2 ans	EGLANTIER	SESVanderhave	100.9	96.5	104.5	96.9	99.3
	EUCALYPTUS	SESVanderhave	99.9	97.2	102.4	96.8	97.8

CE QU'IL FAUT RETENIR



- Les expérimentations 2018 ne montrent pas de différences variétales dans le gain de productivité au cours de l'automne.
- Seule la gravité de cercosporiose a réduit la progression de rendement au cours de l'automne.
- En situation de récolte tardive, choisir une variété tolérante aux maladies foliaires pour maintenir une croissance automnale de la racine et ne pas pénaliser la richesse.

INNOVATION

Le programme Aker entre dans sa phase finale

Lancé en 2012, le programme AKER a pour objectif d'améliorer la compétitivité de la betterave par rapport à la canne, en doublant le progrès annuel de rendement en sucre. En 2018, AKER est entré dans la phase finale de l'évaluation des 3 000 génotypes issus du programme de sélection.

Un programme multi-partenaires

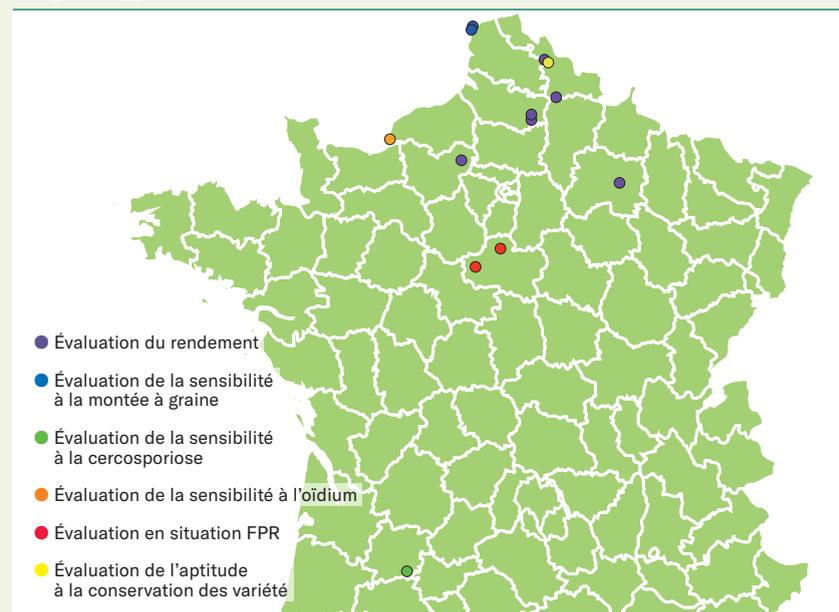
C'est grâce à la collaboration de chercheurs dans des domaines variés qu'il a été possible de mettre au point des outils de phénotypage pour mesurer le fonctionnement de la culture de betterave au champ. Ainsi, la collaboration entre l'Irstea, l'INRA, Hiphen et l'ITB, regroupant différentes compétences de la physique à la physiologie en passant par l'analyse d'image, a permis de mettre au point des outils innovants pour le phénotypage. Les premiers capteurs testés en 2012, basés sur l'imagerie hyperspectrale bas débit, ont rapidement évolué vers les outils haut débit qui sont utilisés aujourd'hui pour l'évaluation des génotypes issus d'AKER.

Phénotypage au champ

63 000 micro-parcelles expérimentales ont été implantées en 2018 pour évaluer les 3 000 génotypes. L'analyse porte sur le rendement en sucre, la dynamique de croissance des plantes, la sensibilité aux maladies foliaires et à la montée à graine et l'aptitude à la conservation. La carte 1 présente les différentes expérimentations mises en place en 2018 pour évaluer les génotypes au champ. Toutes ces parcelles ont été implantées et récoltées par le semencier Florimond-Desprez.

L'ITB s'est occupé plus particulièrement des mesures de croissance. Le rendement final peut résulter de dynamiques de développement très différents selon les conditions environnementales. Pour repérer les variétés qui

Expérimentations mises en place en 2018 pour évaluer les génotypes issus d'AKER



1 Le spectromètre SCiO (Consumer Physics) permet de mesurer la richesse des betteraves.

2 Plantes exotiques choisies pour maximiser la diversité génétique.

combinent productivité et tolérance à des stress, des notations végétatives sont donc réalisées tout au long du cycle cultural pour mieux évaluer la réponse des génotypes à des épisodes climatiques ponctuels. Les 8 hectares de plateformes expérimentales de Curchy (80) et Courtisols (51) ont ainsi été suivis par drone pour mesurer de mai à août l'évolution du taux de couverture, de la surface foliaire, de la quantité de chlorophylle et de la quantité d'azote dans les feuilles. Quelques illustrations d'applications utilisant les mesures par capteurs sont présentées dans la page suivante. En plus des mesures drone, le programme AKER a permis à l'ITB de mettre au point avec l'Irstea un outil pour mesurer la richesse des betteraves à partir d'un spectromètre de poche appliqué en culture sur la partie émergente de la racine. Les spectres sont enregistrés sur un

CHIFFRES CLÉS

63 000

parcelles ont été implantées pour le programme de phénotypage.

3 000

nombre de génotypes issus du programme de sélection AKER.

smartphone puis transférés dans un modèle mis au point par l'ITB et l'Irstea pour estimer la richesse de la racine.

Phénotypage au laboratoire

Parallèlement aux essais de phénotypage au champ, le GEVES, l'INRA et l'Université d'Angers ont mis au point des outils de phénotypage des semences et des plantules pour les 3 000 génotypes. Les mesures sont réalisées à la Station nationale d'essais de semences (SNES) d'Angers. La germination des semences à 5 °C y est d'abord analysée puis les génotypes présentant des comportements extrêmes à 5 °C sont caractérisés plus finement par d'autres critères de qualité des semences (morphologie interne 3D, elongation des différents organes de la plante au stade plantule). L'objectif est d'identifier des génotypes adaptés à des conditions d'implantations variées, en particulier résistants au froid pour des semis plus précoces.

ENRICHISSEMENT DE LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE

L'augmentation de la variabilité génétique au sein des betteraves cultivées grâce au programme AKER sera une source de progrès. Pour cela, des betteraves exotiques ont été croisées depuis le début du programme en 2012 avec des parents élites à haut potentiel de

rendement. Au total, 15 plantes exotiques ont été choisies pour augmenter la diversité génétique et maximiser les chances de découvrir de nouveaux gènes à l'origine de hautes performances pour le rendement ou la résistance aux stress biotiques et abiotiques.

CE QU'IL FAUT RETENIR

- **Aker est un booster d'innovation** qui permet à la filière betterave-sucre de bénéficier du progrès génétique pour améliorer sa compétitivité.
- **AKER a créé de la variabilité** en allant rechercher la diversité génétique dans des populations sauvages.
- **Aker va apporter du nouveau matériel génétique** qui alimentera le développement des futures variétés pour de nombreuses années.
- **AKER a permis de mettre au point des outils** et des méthodes de sélection innovants à disposition des acteurs de la filière.
- **AKER est le fruit de la collaboration** de 11 partenaires qui ont mis leur expertise en commun durant 8 années.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme "Investissements d'avenir" portant la référence ANR-11-BTBR-0007.



INNOVATION

Phénotypage des betteraves par drone

L'utilisation des drones en agriculture s'est beaucoup banalisée ces dernières années, notamment pour la réalisation de cartes de préconisation. L'ITB dispose d'un drone hexacoptère depuis 2016 et l'utilise afin d'acquérir de nouvelles données sur les essais de comparaison des variétés.

Variables mesurées par capteurs

Aujourd'hui, on sait, grâce à des appareils photo performants et des capteurs multi-spectraux (voir encadré ci-contre), mesurer de nombreuses caractéristiques de la betterave. La variable la plus simple à estimer est la couverture foliaire. C'est la proportion de surface de feuilles vertes sur la surface totale d'une micro-parcelle vue à la verticale.

Cette mesure simple décrit de manière efficace le développement de la culture. A partir de la dynamique de couverture de la betterave, l'ITB classe les variétés selon leur potentiel photosynthétique. Lors d'une sécheresse marquée comme celle de l'été 2018, la quantification de la perte de feuilles a également permis de dresser une liste de variétés tolérantes au stress hydrique (voir cahier technique n°1083). Les variétés sont évaluées dans un réseau d'expérimentations multi-local. L'analyse statistique de ce réseau permet de calculer l'effet moyen de chaque variété et de chaque lieu sur la productivité finale. La part de rendement non expliquée par l'effet variété ou l'effet lieu est appelée interaction variété x lieu. Elle représente l'adaptation

de la variété aux conditions particulières d'un lieu d'essai. La figure 1 montre que la perte de couverture foliaire mesurée par drone est un bon indicateur de la sensibilité variétale au stress hydrique. En effet, le principal facteur limitant qui a affecté la productivité de l'essai de Charmont (51) en 2018 est le stress hydrique. La forte corrélation qui existe entre la valeur d'interaction variété x lieu sur ce site et la perte de feuilles due au stress hydrique montre que le déclassement des variétés sur ce lieu d'essai est bien lié au stress hydrique.

Parmi les autres applications, les réseaux de neurones développés par Google et ré-entraînés par l'UMT CAPTE et l'ITB permettent de détecter chaque plant de betterave. On peut ainsi calculer un indicateur précis de l'homogénéité des bouquets foliaires (voir cahier technique n°1077). L'uniformité des pieds pourrait ainsi devenir un critère variétal supplémentaire pour faciliter la gestion du désherbage et les réglages des machines à la récolte.

En outre, des formules optimisées spécialement pour la betterave exploitent la sensibilité des caméras multispectrales pour calculer les taux de chlorophylle des feuilles et leur teneur en azote. L'objectif est alors de comparer les besoins azotés et l'efficacité des variétés.

L'avenir du phénotypage

L'agriculture n'est qu'au début de sa révolution numérique. L'ITB envisage d'élargir les applications de son drone en utilisant notamment les dernières techniques d'intelligence artificielle. Les pistes de travail à court terme sont nombreuses. Tout d'abord, la détection des plantes individuelles de manière automatisée offre l'opportunité de valider objectivement et plus rapidement la qualité d'implantation des betteraves à l'échelle de chaque micro-parcelle. Enfin, l'ITB envisage de quantifier la gravité des infestations de maladies foliaires, en traitant en priorité le cas de la cercosporiose. En effet, les



1 Hexacoptère équipé d'une nacelle pour embarquer des capteurs de phénotypage.

2 La segmentation consiste à séparer les pixels verts de feuilles des pixels de sol ou de feuilles sénescentes.

3 Chaque point représente une variété. La bonne corrélation avec la perte de feuilles, montre l'impact du stress hydrique sur le déclassement des variétés dans cet essai, par rapport au reste des essais du réseau 2018.

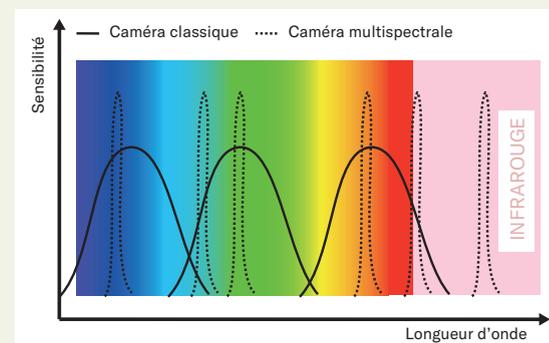
nécroses foliaires changent la couleur de la végétation (comme la sénescence due au stress hydrique). La précision et la rapidité des notations permettront ainsi d'affiner les classements de sensibilité variétale grâce à une mesure quantitative comparable sur tous les sites d'expérimentation.

Le projet Phénaufol débuté en janvier 2017 va encore plus loin dans la caractérisation haut-débit des sensibilités variétales aux maladies. L'Irstea de Clermont-Ferrand, l'UMR Agroécologie de Dijon et l'ITB collaborent pour réaliser un bras robotisé monté sur tracteur capable de prendre automatiquement les feuilles de betteraves malades en photo. Les symptômes de chaque maladie foliaire seront identifiés par une intelligence artificielle. La vitesse et l'objectivité des notations seront ainsi maximisées.

CAPTEURS DE PHÉNOTYPAGE

Les caméras classiques sont sensibles à des larges gammes de rouge, de vert et de bleu. A l'opposé, les caméras multispectrales sont capables de prendre des images centrées précisément autour de certaines longueurs

d'ondes. Le choix de celles-ci dépend de la variable à mesurer : composition biochimique, architecture du couvert, symptôme de maladie foliaire... De plus, des détails invisibles à l'œil nu (dans l'infrarouge) peuvent être mesurés.

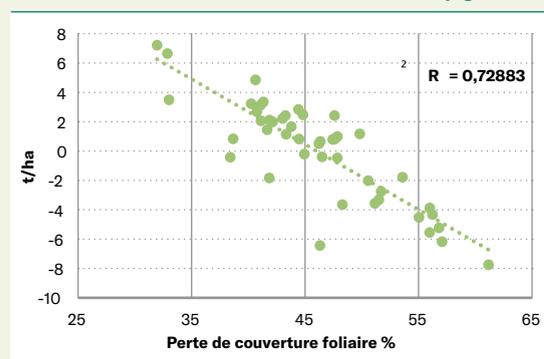


Position des bandes spectrales de la caméra Airphen utilisée par l'ITB.

CE QU'IL FAUT RETENIR

- Le drone permet de réaliser du phénotypage haut-débit sur les essais variétés de l'ITB.
- Deux types de capteurs complémentaires sont utilisés : imagerie visuelle et imagerie multi-spectrale.
- De nombreuses caractéristiques du couvert végétal sont mesurées : taux de couverture, dynamique de développement, taux de chlorophylle et d'azote, sénescence et homogénéité du peuplement. Ces mesures non destructrices permettent d'améliorer la connaissance du fonctionnement de la betterave tout au long de son cycle et de transformer les méthodes d'évaluation variétales.
- De nombreux projets visent à approfondir les connaissances sur les variétés, notamment en mesurant avec un débit élevé : la régularité d'implantation, la qualité de levée et les gravités des maladies.

Part d'interaction variété x lieu sur l'essai de Charmont (51) en 2018. (figure 1)



Détection des plants de betterave par des techniques d'intelligence artificielle

