

RECHERCHE EN COURS

Retour sur l'expérimentation avec le robot Farmdroid

Cette année, le robot Farmdroid a été mis à l'épreuve par l'ITB sur une parcelle de 4,5 ha à Aufferville en Seine-et-Marne (77). Retour sur une expérimentation marquée par des fenêtres météo capricieuses.

Un semis perturbé par les gouttes

Comme pour de nombreux betteraviers cette année, les conditions humides du début du printemps n'ont pas facilité le semis du robot. Il s'est déroulé, le 11 avril en début d'après-midi, sur une parcelle présentant une préparation fine et un sol totalement ressuyé. Le robot, paramétré pour semer 6 rangs de betteraves avec un inter-rang de 50 cm à 2,5 cm de profondeur, a fonctionné à la vitesse de 700 m/h. Avec cette vitesse limitant le débit de chantier et compte tenu des précipitations, le semis s'est étalé sur plusieurs jours. Le robot, équipé d'un pluviomètre et s'arrêtant de semer dès qu'il détecte une précipitation trop importante (2 mm), a fonctionné par intermittence sur 8 jours. Il a fallu le relancer manuellement dès que les fenêtres météo se montraient favorables au semis (voir *figure 1*). La position de chaque graine est mémorisée avec une précision centimétrique par le robot grâce au signal RTK. Malgré ce semis discontinu, l'ITB a compté une bonne levée des betteraves avec une population moyenne de 105 000 betteraves/ha (sur 114 000 semées). Une différence de stades existe entre les premières betteraves semées (11 avril) côté gauche de la parcelle et les betteraves semées plus tardivement (côté droit de la parcelle). La distance

régulière entre les graines (17,5 cm) a pu être observée à la levée avec des betteraves qui étaient alignées à 45° et 90° (*photo 1*), ce qui démontre la précision de semis.

Un binage du rang et de l'inter-rang efficace

Une intervention manuelle d'environ 3 h est nécessaire pour passer le robot du mode semis au mode binage. Les précipitations de début mai ont retardé les premières opérations de désherbage mécanique et ont empêché le désherbage à l'aveugle juste après le semis (*figure 1*), tel que préconisé par le constructeur. La première opération de désherbage s'est effectuée le 17 mai dans une parcelle globalement propre avec la présence localisée de repousses de pommes de terre (visibles sur la *photo 1*). Le robot dispose d'éléments de binages passifs et actifs. Les éléments passifs sont des éléments ronds rigides qui vont travailler la terre sur une profondeur de 1 cm dans l'inter-rang des betteraves. Les éléments actifs sont des couteaux qui vont travailler, de manière superficielle, le rang de betterave en entrant et sortant du rang entre chaque betterave, le robot connaissant leurs positions avec une précision centimétrique RTK.

Le premier passage a été satisfaisant, en éliminant

CHIFFRES CLÉS

700 m/h

Vitesse d'avancement au semis/binage.

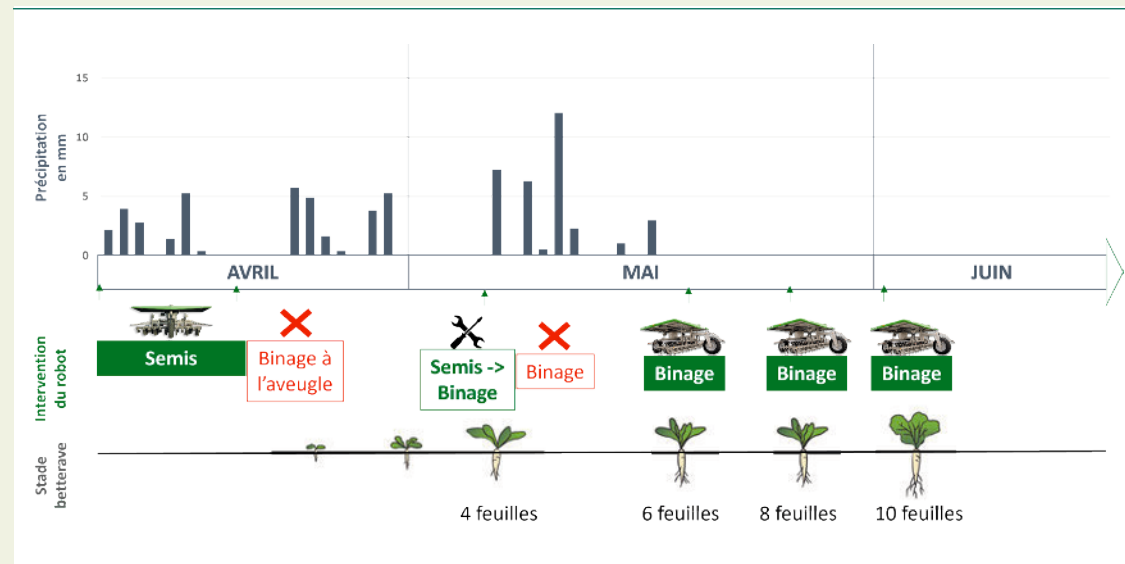
24 h

d'autonomie.



la presque totalité des adventices dans la parcelle (*photo 2*). À la suite de cette opération, un binage avec le robot a été effectué toutes les semaines jusqu'à début juin, les conditions climatiques étant particulièrement propices au désherbage mécanique. Les réglages des couteaux permettant le désherbage du rang ont été affinés avec la croissance de la betterave, de manière à désherber le plus de surface possible dans le rang. Ces opérations ont également été satisfaisantes en termes de qualité de désherbage. A partir du stade 12 feuilles, le binage a été arrêté car il pouvait potentiellement nuire aux betteraves.

Suivi des opérations du robot sur avril/mai/juin (*figure 1*)



CE QU'IL FAUT RETENIR

Le robot Farmdroid est limité par sa vitesse d'avancement pour répondre aux normes françaises, donc de faibles débits de chantier et une forte dépendance aux conditions météorologiques, que ce soit pour le semis ou le désherbage. Malgré cela, la qualité des interventions a été très satisfaisante et aucun dégât sur les betteraves n'a été constaté. Le robot a pu maîtriser efficacement la population d'adventices au cours des opérations de binage successives.

RECHERCHE EN COURS

Dernière campagne pour Cercocap

Après une année riche en innovations, le projet Cercocap touche bientôt à sa fin. La modélisation des épidémies de cercosporiose est encore plus précise, grâce à l'utilisation de nouvelles techniques et à l'assimilation de données d'observation. Au champ également, les caméras connectées ont été modernisées pour mieux mesurer l'évolution des symptômes.

Modéliser la cercosporiose pour mieux alerter

Le projet Cercocap « *pilotage de la CERcosporiose de la betterave par COuplage entre modèle agroclimatique et CAPteurs connectés* » vise à développer un outil d'aide à la décision, pour anticiper le développement de la maladie et prodiguer des conseils adaptés. Pour cela, il est nécessaire de prévoir l'évolution des symptômes, notamment l'augmentation du pourcentage de feuilles touchées (fréquence) au cours du temps. Cette démarche s'appuie sur les expérimentations menées par l'ITB et sur les compétences en science des données de l'Acta. Des centaines d'essais ont été compilés sur une période de 15 ans, pour étudier l'impact des conditions météo et des pratiques agronomiques sur les épidémies de cercosporiose. Des millions d'observations météo sont également mobilisées avec la meilleure résolution spatiale possible. Ainsi, pour chaque observation de la maladie, sont calculées près de 500 covariables potentielles telles que la température moyenne de la semaine écoulée, l'hygrométrie, la vitesse du vent, etc. Les méthodes de modélisation sont aussi très importantes pour obtenir la meilleure précision de prédiction possible. Les derniers travaux de l'Acta ont ainsi montré que les modèles historiques les plus simples ne sont pas assez robustes, et que le volume de données disponible est insuffisant pour utiliser des approches plus complexes, comme les désormais médiatisés réseaux de neurones. Le modélisateur s'est donc focalisé sur une méthode intermédiaire mais éprouvée : les arbres de décision (figure 1). La technique « *LightGBM* » a été retenue pour sa précision correcte et stable au fil des campagnes, ainsi que sa rapidité d'exécution.

Une procédure de validation exigeante

Tous les modèles doivent être validés après leur entraînement pour s'assurer que leurs

prévisions ne seront pas trop éloignées de la réalité. Pour Cercocap, la méthodologie de la validation croisée est utilisée. L'utilisation du modèle est simulée dans les conditions d'une nouvelle campagne inconnue, en l'entraînant avec toutes les années disponibles, sauf l'année pour laquelle on cherche à prévoir l'évolution de la fréquence de cercosporiose. L'opération est renouvelée pour chaque campagne du jeu de données. Cette méthode permet ainsi d'évaluer la stabilité du modèle au fil du temps ; d'identifier des années particulièrement difficiles à prédire pour lui ; et de chiffrer la qualité globale du modèle qui sera utilisé. Les résultats montrent que les arbres de décision assimilent efficacement les covariables et sont capables d'extrapoler une nouvelle campagne. La précision augmente davantage lorsqu'une donnée d'observation des semaines précédentes est fournie (tableau figure 3).

L'assimilation de données pour gagner en précision

L'évolution de la cercosporiose étant complexe à modéliser au cours de la campagne, un des objectifs de Cercocap est d'améliorer la précision des modèles grâce à des données d'observation antérieures. Concrètement, la saisie d'une observation au champ le jour J pourra alimenter le modèle et améliorer la précision de la fréquence prédite pour le jour J + 7. La technique est similaire à celle utilisée par Météo France pour améliorer ses prévisions, en y joignant les mesures des stations, des radars, des satellites, etc. Pour la cercosporiose, le but est de mettre au point un système polyvalent capable d'intégrer les notations réalisées dans le cadre du Bulletin de Santé du Végétal (BSV) ou par le futur réseau de capteurs autonomes. Les modèles statistiques classiques ont donc dû être laissés de côté au profit de techniques plus modernes, autorisant l'utilisation de données d'observation antérieures.

CHIFFRES CLÉS

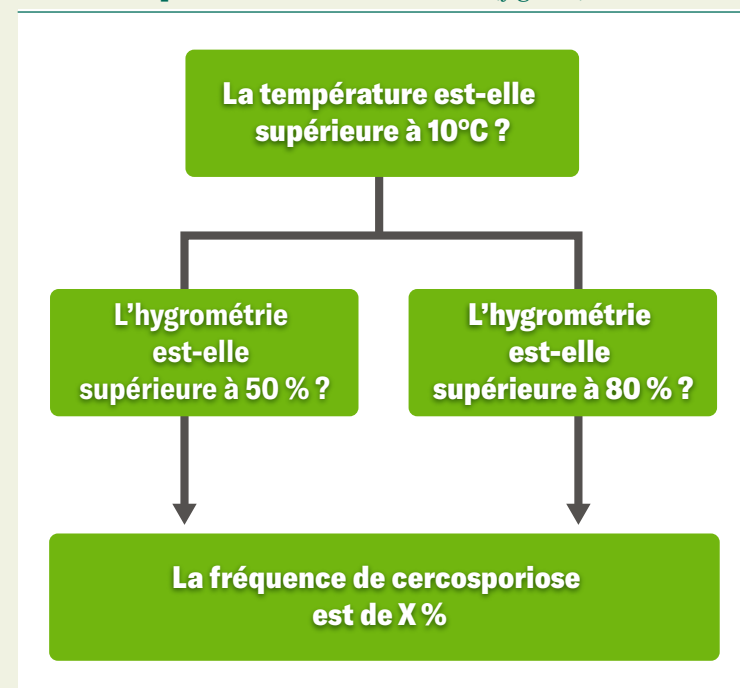
5 500
lignes

de données sont utilisées pour calibrer le modèle épidémiologique.

8 MP

C'est la résolution de la nouvelle génération de caméras connectées.

Schéma simplifié d'un arbre de décision (figure 1)



Exemple d'un modèle expliquant 87 % de la variabilité des données (R²), de manière stable dans le temps (figure 2)



Performance des modèles à échéance plus ou moins lointaine, avec ou sans assimilation de données d'observation (figure 3)

Échéance de prédiction	Observation précédente disponible	R ² = % variance expliquée (Perfection = 100)	MAE = Erreur moyenne sur la fréquence de cercosporiose (Perfection = 0)
14 jours	Non	39	10
14 jours	Oui	87	4
7 jours	Non	36	10
7 jours	Oui	93	3



1



2

Photos : ITB

De nouveaux capteurs pour suivre la cercosporiose au champ

Déjà familiarisé avec les caméras connectées lors des précédentes campagnes, l'ITB a pu profiter d'une nouvelle gamme d'appareils pour suivre le développement des symptômes en 2023. La détection automatisée des symptômes de maladie au champ pose en effet de nombreux défis techniques. Tout d'abord, la petite taille des lésions de *Cercospora beticola* et le grand nombre de feuilles requis par la méthodologie IPM nécessitent de prendre en photo une surface de feuillage assez grande, tout en maintenant une résolution élevée afin de pouvoir distinguer avec certitude la maladie. Cette année, de nouveaux capteurs de 8 Méga Pixels ont permis de mieux capturer l'apparition des taches sur les feuilles. Des boîtiers étanches transmettent les images, de manière autonome plusieurs fois par jour, tout au long de la campagne via le réseau téléphonique 4G. Cette programmation a plusieurs avantages : les observations sont disponibles sans avoir à se déplacer et sont très rapprochées dans le temps. Il est ainsi possible de suivre à distance la progression de la maladie, sans relever régulièrement sur place les photos acquises par les

1
Nouveau capteur, testé au champ en 2023.

2
Lésions circulaires caractéristiques de la cercosporiose présentes sur de nombreuses feuilles, vues par une caméra connectée.

appareils. A l'avenir, ce mode de fonctionnement devrait être intégré au système d'information de l'ITB et complètera les observations humaines du réseau de Suivi Biologique du Territoire.

Des algorithmes plus perfectionnés pour quantifier la cercosporiose

L'ITB travaille en partenariat avec l'Université d'Angers depuis 3 ans pour développer des méthodes automatisées de détection de la cercosporiose. Des milliers de photos ont été acquises au champ à l'aide d'appareils variés : caméras connectées, robot, smartphone, etc. Puis, celles-ci ont été annotées afin de constituer une base d'apprentissage et de référence pour de futurs algorithmes. Les chercheurs ont notamment travaillé à diminuer la durée et la pénibilité de l'annotation lors de la première année du projet. Ils ont ensuite entraîné un premier réseau de neurones convolutif, spécialisé dans la reconnaissance de couleurs et de formes complexes. Puis, au fil des ans, les modèles utilisés ont été perfectionnés et complexifiés, pour identifier le plus précisément possible les minuscules symptômes de cercosporiose et atteindre aujourd'hui jusqu'à 60 % de réussite. Des techniques dites d'augmentation ont également été appliquées aux images

pour rendre l'algorithme plus tolérant à des variations de luminosité, de contraste ou d'angle de prise de vue. Le panel d'entraînement a aussi été artificiellement élargi en synthétisant de nouvelles photos des betteraves malades à partir d'une combinaison d'images de feuilles saines et de taches fongiques. Enfin, courant 2023, des travaux ont été menés pour valider la robustesse du modèle face aux images issues de nouveaux capteurs. L'analyse préliminaire a montré que le catalogue d'image dont dispose l'ITB est suffisamment varié et représentatif des conditions de prise de vue au champ. Le réentraînement du modèle ne sera donc pas nécessaire chaque année. Cependant, les recherches se poursuivent pour améliorer sa précision.



Le projet CERCOCAP a bénéficié du soutien financier du CASDAR.

LE DÉVELOPPEMENT DE LA CERCOSPORIOSE EN 2023

La cercosporiose, associée historiquement aux étés des climats continentaux, gagne en importance depuis plusieurs années dans des régions où elle était jusqu'alors minoritaire. Bien que toujours préoccupant en région Centre et en Champagne, le champignon atteint désormais la bordure maritime. Cette année, les températures chaudes et l'hygrométrie matinale ont été favorables au développement de la cercosporiose qui est apparue fin juin au sud de Paris. Les Hauts-de-France ont été touchés, avec plusieurs semaines de décalage, fin juillet. La Normandie présente, elle, une situation intermédiaire avec une date de premier traitement assez

tardive ; mais une progression rapide conduisant à une date de troisième traitement similaire aux régions du sud. Le maintien de conditions météo propices à la maladie a entraîné le renouvellement des fongicides : jusqu'à 4 applications pour les zones les plus atteintes. Ces statistiques sont issues des observations réalisées sur le terrain, par les observateurs du Bulletin de Santé du Végétal qui ont réalisé des comptages hebdomadaires sur 100 feuilles, afin de quantifier précisément la pression. Ces données sont valorisées : en temps réel par l'outil Alerte Maladies ; et par la modélisation, notamment dans le projet Cercocap.

CE QU'IL FAUT RETENIR



- **L'ITB travaille sur des modèles statistiques** pour prévoir l'évolution de la fréquence de cercosporiose au cours du temps
- **500 covariables** agrométéorologiques alimentent les modèles
- **Les modèles sont testés** pour leur fiabilité et stabilité
- **L'assimilation de données d'observation antérieures** permet d'améliorer la précision de la prédiction
- **Une nouvelle génération de caméras connectées** permet de mieux identifier les symptômes au champ
- **La cercosporiose** est présente aujourd'hui sur l'ensemble des régions betteravières

BETTERAVENIR

LE SALON DE LA BETTERAVE 2023



accueille  **beet
europe**

Tous les acteurs de la filière sur 40 ha

Les **25 et 26 octobre 2023** de 8 h 30 à 18 h

à Berny-en-Santerre dans la Somme



DÉMONSTRATIONS
récolte / déterrage / bâchage

Un événement organisé par :



En partenariat avec :



Avec le soutien
financier de :



**Demandez votre
badge d'accès gratuit
sur betteravenir.com**

Réalisation : SEDA