

## INNOVATION

# Les premiers résultats encourageants de Cercocap

Alors que la cercosporiose a été omniprésente cet été 2021, le projet Cercocap a approfondi la modélisation de la maladie dans l'optique de fournir un Outil d'aide à la décision (OAD) complet pour 2023.

### Les objectifs du projet

L'objectif de Cercocap est de fournir d'ici juin 2023 un outil fiable pour gérer de manière durable les épidémies de cercosporiose. Le but est de positionner au mieux les applications fongicides en tenant compte des leviers agronomiques déjà employés. Pour ce faire, la prévision précise de la dynamique du champignon et de son impact sur la betterave est nécessaire. Cette anticipation sera permise par deux approches. Premièrement, une modélisation statistique des facteurs de la maladie et de son évolution temporelle sera réalisée par l'Association de coordination technique agricole (ACTA). En parallèle, un réseau de capteurs connectés intelligents, capable de mesurer la pression de cercosporiose, sera déployé dans les champs. Il sera programmé par l'Université d'Angers. Ces deux sources d'information seront enrichies de données météo d'observation et combinées dans un OAD mis à disposition gratuitement sur le site de l'ITB.

### Les caméras connectées pour l'épidémiosurveillance

Cercocap utilise des caméras connectées pour suivre l'évolution de la cercosporiose en temps

réel dans les champs. Cette technologie s'inscrit dans le courant des objets connectés qui envahissent progressivement l'agriculture, l'industrie et les foyers depuis quelques années, afin de les automatiser. Pour alerter sur la présence de bioagresseurs, des systèmes informatiques embarqués associent des pièges classiques (plaque engluée, phéromones, boîtes, ...) avec des sondes ou de petites caméras. Un ordinateur miniaturisé détecte et compte alors les captures avant d'envoyer une alerte. Pour Cercocap, le défi est plus important car la pression de maladie n'est mesurable qu'en détectant de discrets symptômes. Il faut donc une caméra à haute résolution et des algorithmes pointus pour l'estimer. En prenant en compte des critères technologiques, pratiques et économiques ; deux équipements ont été testés au champ. Plusieurs fois par jour, les images entières sont envoyées via le réseau 3G sur un serveur pour y être analysées.

### L'apprentissage automatisé pour le suivi des maladies

La reconnaissance des maladies au champ nécessite une bonne expertise et une observation minutieuse. Les algorithmes peuvent

Suite en page 14 →

### CHIFFRES CLÉS

**17 359**

notations d'épidémiosurveillance analysées.

**1 000 images**

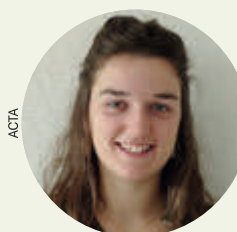
Environ 1000 images acquises par des caméras connectées en 2021.

## TÉMOIGNAGE D'EXPERT

**Lucile Vallet**

Ingénieure Science des données à l'Acta

### La science des données pour la modélisation de la cercosporiose

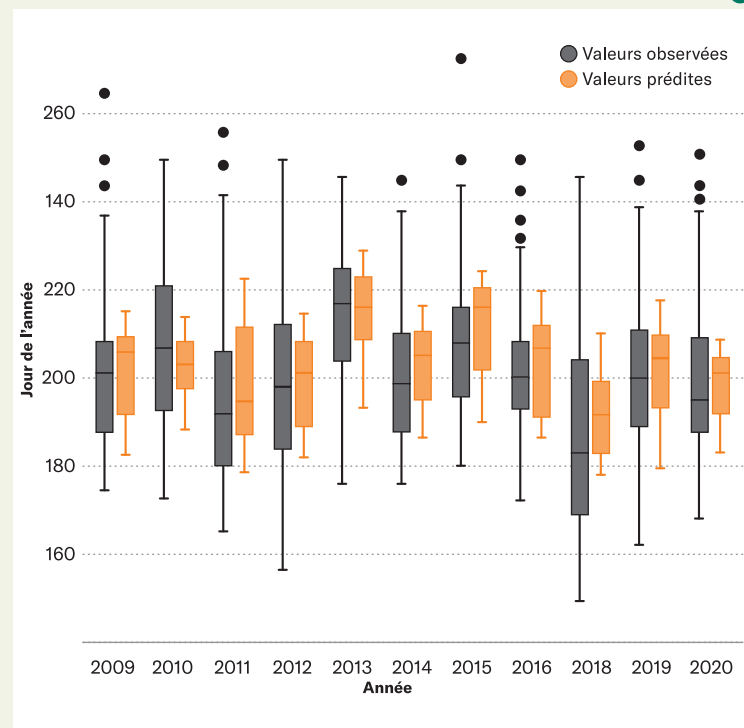
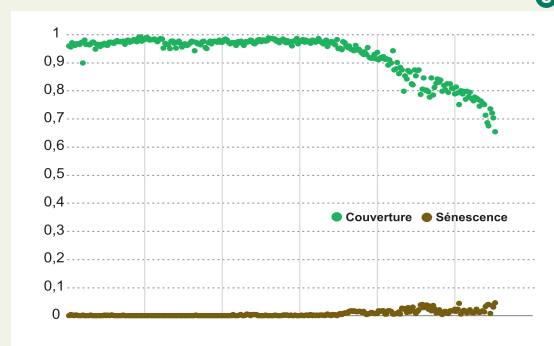
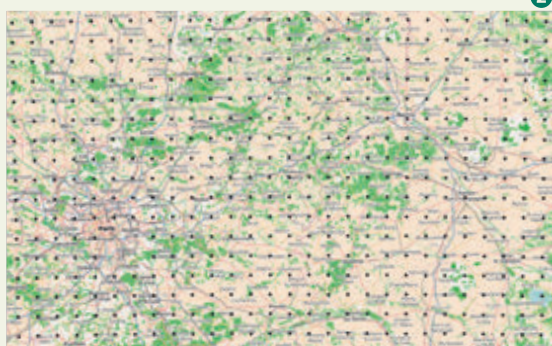
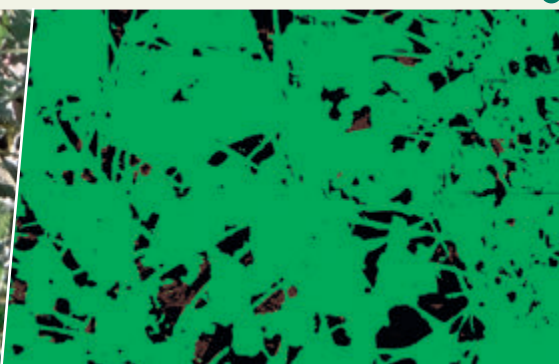


Pour modéliser la cercosporiose, l'Acta a d'abord réalisé une importante synthèse bibliographique afin de restreindre le choix des covariables météorologiques. L'Acta a également recensé, dans la littérature scientifique, les méthodes qui ont déjà été appliquées afin de ne pas les répéter ou de les perfectionner. Ce travail a conduit à privilégier des approches de machine learning (ou apprentissage automatique) consistant à apprendre de façon autonome à prédire une information cible à partir de données d'entrée. Les indicateurs climatiques et agronomiques fournis au modèle ont alors été développés en lien avec les avis combinés des experts techniques et des publications. Plus d'une centaine de covariables ont été calculées à partir des informations sur l'itinéraire technique des parcelles et des données fournies par Météo France avec une

résolution spatiale de 8 km. Les valeurs de température, d'humidité relative, de vitesse du vent et de quantité de précipitations sont par exemple agrégées en « nombre de jours où la température moyenne a été supérieure à 15 °C sur les 15 derniers jours de mai » ou « somme de jours où l'humidité relative dépasse 65 % ». Un algorithme de type « forêt aléatoire » ou « gradient boosting » est alors entraîné à prédire la variable cible : la date d'apparition des symptômes. Le programme explore ensuite les relations possibles entre les informations fournies (données d'entrée) et les dates effectivement observées, puis répète le processus afin d'améliorer les corrélations. Après cette phase d'apprentissage, le modèle est capable de prédire, pour de nouvelles données météorologiques et agronomiques, la date d'apparition des symptômes grâce à ses capacités de généralisation. Une grande quantité et diversité de données d'apprentissage (big data agricole) est ainsi primordiale pour obtenir des pronostics fiables.



Appareil photo connecté installé dans un essai de l'ITB.



assister les notations et diminuer la pénibilité de la tâche ; il faut toutefois qu'ils soient suffisamment robustes pour ne pas se tromper. Heureusement, les techniques de traitement d'image ont fait un bond en avant ces dix dernières années grâce au « machine learning ». Au lieu de se consacrer à la calibration d'algorithmes, longue et hasardeuse, les chercheurs peuvent maintenant laisser les ordinateurs « apprendre » à partir d'exemples de référence annotés par des experts en reconnaissance des maladies. La référence en matière d'annotation des symptômes est fournie par les experts de l'ITB qui ont déjà labellisé numériquement la cercosporiose sur l'équivalent de plus d'un milliard de pixels. L'Université d'Angers, spécialisée dans l'utilisation de ces techniques, entraîne des réseaux de neurones afin de mesurer la présence de cercosporiose au pixel près. Les résultats actuels sont bons et toujours en voie d'amélioration via l'utilisation de stratégies d'entraînement de pointe, inspirées des dernières publications.

#### La nécessité d'un grand volume de données

Comme détaillé dans les paragraphes précédents, la précision des algorithmes de Cercocap repose sur une quantité importante de notations humaines fiables et diversifiées. En effet, face à des conditions extrêmes (retard de croissance au printemps, photos de feuilles très gaufrées, ...), qui ne seraient pas représentées dans les jeux d'entraînements, les modèles pourraient ne pas fournir une réponse cohérente. Comme pour les humains, il faut une expérience solide pour pouvoir anticiper la dynamique de la cercosporiose. À l'heure actuelle, 11 ans d'observations ont été exploités pour paramétrer le modèle épidémiologique. Et ce sont encore autant d'essais fongicides qui attendent d'être mis en forme pour être inclus dans les analyses. Pour la détection des symptômes à partir d'images, là encore, la diversité des prises de vue est primordiale. Plus d'une dizaine de milliers d'images variées sont disponibles, captées par des appareils photo, des robots ou des capteurs connectés. Toutefois, en raison de leur nombre, seules les plus intéressantes seront annotées. L'objectif est de

maximiser les variations d'éclairage et de stades de développement, tout en restant fidèle aux conditions que l'on retrouvera dans les champs.

#### Fusionner les informations pour fiabiliser

Tout modèle n'est pas infaillible ; en particulier, les systèmes modélisant le vivant ne sont qu'une approximation des mécanismes biologiques complexes en jeu. Aussi, les variables servant à l'initialisation des calculs (mesures météo, estimation de la tolérance variétale, ...) contiennent toujours une part d'incertitude qui peut être amplifiée dans la suite des calculs. De manière complémentaire, une notation de la fréquence des plantes touchées donne à un instant T une information fiable de la pression de ravageur, mais qui est difficilement extrapolable dans le futur sans connaissance supplémentaire. La plus-value de Cercocap réside donc aussi dans le couplage de ces deux sources. Les capteurs connectés peuvent corriger le niveau de risque estimé de manière absolue, tandis que le modèle permet de se projeter dans le temps et d'anticiper les contaminations. L'ITB et ses partenaires ont d'ailleurs déjà travaillé sur ces problématiques de couplage dans le cadre de projets comme Phénobet.

#### Construire un système interopérable

Comme tous les OAD proposés par l'ITB, Cercocap sera gratuit. Mais il sera aussi interopérable, c'est-à-dire conçu dans le but de s'intégrer facilement avec d'autres systèmes d'information. En effet, chaque module (modélisation, mesure des symptômes, interface, ...) sera indépendant et pourra être complété. L'objectif est de fournir un outil personnalisable qui pourra par exemple exploiter les données météo de stations connectées privées. On pourra également y connecter des caméras IoT d'autres fournisseurs que ceux testés à l'ITB afin d'élargir le réseau de surveillance et d'améliorer la qualité du suivi.

#### Plan de route

Cercocap vise à rendre disponible son OAD le plus tôt possible ; concrètement, une version bêta sera disponible en test pour la campagne 2022. L'accent

1 Image prise par une caméra connectée et segmentée par un réseau de neurones.

2 Maillage des données Météo-France.

3 Évolution de la couverture foliaire et de la sénescence dans le temps mesurée par un algorithme de deep learning.

4 Estimation par un modèle de la date d'apparition des premiers symptômes, les valeurs prédites (orange) suivent de près les valeurs observées (gris) ; toutefois les dates extrêmes sont moins bien simulées.

sera mis sur le couplage des algorithmes (simulations de la dynamique de la maladie et mesure de la fréquence en temps réel) et la présentation des résultats en collaboration avec des membres testeurs de la filière (interface web, présentation, conseils agronomiques). Jusqu'en 2023, les modélisations seront approfondies selon les retours d'expérience et l'assimilation de plus de données, tout en améliorant l'expérience utilisateur. Enfin, le développement laissera la place à la maintenance à partir du mois de juillet 2023.



Le projet Cercocap bénéficie de la contribution financière du compte d'affectation spéciale de développement agricole et rural CasDar du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

### CE QU'IL FAUT RETENIR

- **Cercocap** vise à concevoir un Outil d'aide à la décision pour lutter de manière durable contre la cercosporiose.
- **La modélisation** à partir de données d'épidémiologie et d'expérimentation permettra d'anticiper le développement de la maladie.
- **Les caméras connectées** fourniront des images des cultures analysées par « *deep learning* » afin de suivre la progression des symptômes en temps réel.
- **La fusion de données** via un système interopérable permettra de fournir des conseils plus fiables et personnalisables.
- **Cercocap** est pensé pour être facilement mis à jour.

RÉSULTATS D'EXPÉRIMENTATION

# Des plantes associées pour limiter les populations de pucerons

En 2021, dans le réseau des fermes pilotes d'expérimentation du PNRI, l'ITB et ses partenaires ont testé l'association de diverses plantes avec la betterave, pour lutter contre les jaunisses.

Une réduction des populations de pucerons a été observée dans certaines situations, mais l'intérêt global reste encore à démontrer.

## Des populations de pucerons parfois plus faibles

Différentes espèces ont été testées en association avec la betterave pour tenter de limiter les populations de pucerons sur cette dernière : l'avoine, l'orge, la féverole, le fenugrec, la vesce et le pois. Le choix s'est fait selon deux critères : une potentielle tolérance de ces espèces au programme de désherbage classique (ou légèrement adapté) réalisé sur betterave, et la possibilité de les détruire chimiquement à des stades tardifs. Dans le cas de l'avoine et de l'orge, des anti-graminées ont pu être appliqués. Dans le cas des légumineuses, du triflusaluron méthyle, ou du clopyralid ont été employés. Ces espèces ont été semées au moment du semis des betteraves, ou quelques semaines avant.

Huit essais ont été mis en place pour tester l'association de la betterave avec de l'avoine (voir tableau ci-dessous). Dans la plupart des cas, le dispositif était dédoublé avec une moitié des betteraves soumise à un programme aphicide, et l'autre moitié non traitée. Sur les huit essais, six font ressortir un impact significatif de l'avoine sur la réduction des populations de pucerons dans les modalités non traitées. En revanche, sur l'essai conduit à Etrepagny, la tendance est contraire :

les populations de pucerons sont plus importantes dans la modalité avec avoine. Dans les modalités traitées, les aphicides ont permis de bien gérer les populations de pucerons dans la plupart des cas. Ainsi, pour ces modalités, seuls trois essais sur sept ont des populations de pucerons significativement moindres dans les betteraves associées avec de l'avoine par rapport aux betteraves sans plante associée.

Les résultats obtenus avec les légumineuses sont beaucoup plus mitigés, car dans la plupart des cas, le gel printanier et le programme de désherbage ont fortement ralenti leur développement. Dans la majorité des essais conduits, aucun effet intéressant n'a été détecté.

## Des résultats à consolider

Ces premiers résultats traitent uniquement des comptages de pucerons réalisés sur les essais. Or, l'intérêt global de cette méthode repose aussi sur les rendements obtenus et les dégâts liés aux jaunisses. En effet, ces plantes associées peuvent avoir un effet de concurrence sur les betteraves qu'il est nécessaire de maîtriser. Même si une destruction chimique a été réalisée sur l'ensemble des essais où celles-ci se sont bien développées, il est fortement probable qu'une concurrence se soit établie, au détriment du rendement betteravier. Enfin, il convient aussi de démontrer que les réductions de populations permises sont suffisantes pour diminuer les symptômes associés aux jaunisses. Sur



Tereos

7 Betterave associée à de l'avoine.

### CHIFFRE CLÉ

6

espèces différentes ont été testées comme plantes associées en 2021.

certaines essais, comme celui de Nojeon-en-Vexin, des réductions conséquentes de symptômes ont été observées. Sur d'autres, comme Etrepagny, ou encore Trinay, aucun effet n'est détecté. En résumé, l'enjeu est d'essayer de trouver un compromis entre un effet suffisant sur les pucerons pour limiter les pertes liées aux jaunisses, tout en évitant l'effet de concurrence des plantes associées.

## Des perspectives pour la suite

Il sera donc nécessaire d'affiner les itinéraires techniques menés afin de tenter de trouver ce compromis, et de les répéter dans de nombreuses situations pour en avoir une évaluation fiable.

Le choix et la conduite des espèces pourront être ajustés. Malgré les difficultés rencontrées avec les légumineuses, leurs profils restent intéressants. Certaines d'entre elles peuvent probablement être moins concurrentielles que les graminées. Des travaux pourront être menés, entre autres, sur l'ajustement des densités, le choix des espèces et les dates de semis. Si un compromis intéressant est trouvé, il sera aussi nécessaire de valider ce levier à l'échelle d'une parcelle agricole.



Ce programme bénéficie du financement de :



La responsabilité du ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée

## Résultats des comptages d'aptères verts dans les essais

Essais	Sans plantes associées		Avoine	
	Sans aphicides	Avec aphicides	Sans aphicides	Avec aphicides
Bernay en Ponthieu (80)	c	3,16	b	0,85
Hallencourt (80)	c	2,23	a	0,48
Ostreville (62)	c	3,23	b	0,46
Les Attaques (62)	c	0,88	b	0,47
Trinay (45)	b	0,74	a	0,36
Mérouville (28)	a	0,71	a	0,26
Nojeon-en-Vexin (27)	d	2,23	ab	0,67
Etrepagny (27)	a	1,66	b	2,16

Ce tableau donne le nombre moyen d'aptères verts observés par betterave sur l'ensemble des comptages. Deux modalités avec une lettre identique ne sont pas statistiquement différentes.

## CE QU'IL FAUT RETENIR

Globalement, des populations de pucerons plus faibles ont été dénombrées sur des betteraves associées avec de l'avoine. Les légumineuses associées aux betteraves ont vu leur développement ralenti ou bloqué par le gel et les programmes de désherbage : l'effet observé était donc nul ou peu prononcé. Cependant, l'analyse des données de rendement et des notations de jaunisse est nécessaire pour juger de l'intérêt global de cette méthode sur les situations testées. L'objectif est de trouver des itinéraires techniques permettant une réduction des populations de pucerons suffisantes pour limiter les pertes dues aux jaunisses, tout en évitant la concurrence des plantes compagnes.

RECHERCHES EN COURS

# Des graminées inoculées pour lutter contre les pucerons

Dans le cadre du Plan National de Recherche et d'Innovation, l'ITB a testé des fétuques inoculées avec des champignons produisant des composés insecticides, afin de limiter les populations de pucerons.

L'ITB a mis en place, en 2021, trois essais visant à maintenir, en début de végétation des betteraves, des fétuques associées inoculées avec des champignons endophytes. Les fétuques ont ensuite été détruites afin d'obtenir un transfert des composés insecticides vers les betteraves pour réduire les populations de pucerons. Sur les trois essais, deux ont pu être conduits correctement. Des réductions modérées des populations de pucerons ont été constatées, mais très probablement liées à l'effet « association », traité dans la page précédente de ce cahier technique. De plus, l'itinéraire technique retenu a conduit à une concurrence importante des fétuques qui pénalisera trop fortement le rendement betteravier. La preuve de concept reste à démontrer, et devra reposer sur un itinéraire technique suffisamment performant.

## Pourquoi utiliser ces fétuques ?

Les champignons du genre *Neotyphodium* sont naturellement présents dans 20 à 30 % des graminées. Ils établissent une relation de symbiose avec celles-ci, d'où le nom « endophytes », et produisent des composés insecticides dont la nature et la quantité dépendent de l'association champignon-hôte. Dans le cas des fétuques mentionnées ici, les fournisseurs de ces solutions ont travaillé sur une inoculation de souches de champignons bien caractérisées. L'objectif est d'obtenir la production de composés insecticides de la famille des lolines, dans des quantités bien définies afin de ne pas être toxiques pour les animaux d'élevage. En effet, ces

solutions sont notamment employées en Nouvelle-Zélande, en pâture, afin de limiter les dégâts de ravageurs souterrains. Il a aussi été démontré que ces composés ont des effets conséquents sur la mortalité de pucerons des graminées. L'objectif visé est d'obtenir un transfert de ces composés vers les betteraves grâce à la dégradation des fétuques, et d'en démontrer un effet sur la mortalité des populations de *Myzus persicae*.

## Un itinéraire technique délicat à mener

La production de ces composés est d'autant plus élevée que le niveau de développement des fétuques est avancé. Il est donc nécessaire de semer ces dernières au plus tard à l'interculture précédente. L'ITB a mis en place trois implantations à l'interculture 2020. Un essai mené en Normandie a été semé en direct juste après moisson, et a vu un développement correct des fétuques avec un salissement limité. Sur les deux autres sites, dans l'Aisne et en Champagne, le semis a été réalisé après un travail du sol : le développement des fétuques a été lent, et les parcelles se sont salées. Le site conduit dans l'Aisne a dû être abandonné. Le développement lent des fétuques à cette période, et particulièrement de la variété proposée, oblige donc à réaliser le semis le plus tôt possible.

Afin de maximiser le développement des fétuques, il a été décidé de prolonger leur végétation dans les betteraves, et de semer les betteraves dans celles-ci en réalisant au préalable un travail du sol localisé.

## Des résultats pour le moment mitigés

En Normandie, une destruction des fétuques avec un anti-graminées a été réalisée une fois les betteraves levées. Cependant, le niveau de développement a rendu difficile la destruction, obligeant à une seconde intervention, et impactant fortement le développement des betteraves. Le seuil des 10 % de betteraves atteintes par les pucerons verts a été franchi le 31 mai dans la modalité avec les fétuques, soit trois semaines après la modalité classique.

En Champagne, en raison d'un re-semis dû au gel, une intervention au glyphosate a été réalisée avant le second semis des betteraves, permettant ainsi de détruire les fétuques et les adventices. Là aussi, la destruction des fétuques a été lente, et les betteraves ont été concurrencées. Sur un premier comptage, réalisé fin mai, deux fois moins de pucerons verts sont observés dans la modalité avec fétuques. Début juillet, aucune différence ne ressort.

1 En Normandie, la présence des fétuques a fortement dégradé la qualité de semis et le développement des betteraves.

2 Pour préparer la campagne d'essais 2022, un semis de fétuques à la volée a été réalisé en Champagne sous orge de printemps, afin d'obtenir un bon développement.

## CHIFFRE CLÉ

3 essais au champ ont été mis en place par l'ITB pour les campagnes 2021 et 2022..



L'interprétation des résultats obtenus sur les populations de pucerons est à considérer avec prudence. En Champagne, des analyses ont révélé que les composés insecticides n'avaient pas migré vers les betteraves, ce qui n'est pas étonnant compte tenu du temps nécessaire à leur dégradation. En Normandie, les analyses seront prochainement réalisées. L'effet sur les réductions des populations de pucerons peut donc s'expliquer par la simple association des fétuques. Il est peut-être majoré par leur contenu en composés insecticides. Il peut aussi y avoir dans ces résultats des biais liés au niveau de développement des betteraves et au peuplement, plus faibles dans la modalité avec les fétuques.

## Les perspectives de travail

L'ITB a lancé une expérience sous serre afin de tenter d'observer ce transfert des composés insecticides selon différents modes de destruction (chimique, mécanique), et d'en évaluer le potentiel impact sur *Myzus persicae*. Selon les résultats qui seront obtenus, l'itinéraire technique pourra être adapté. Trois essais sont actuellement implantés pour la campagne 2022, dont un pour lequel le semis des fétuques a été réalisé dans la culture précédente, afin d'en optimiser le développement.

## CE QU'IL FAUT RETENIR

**Les champignons inoculés sur les fétuques** produisent des composés insecticides de la famille des lolines. L'objectif est de les faire migrer vers les betteraves, en détruisant les fétuques, juste avant, ou bien après la levée des betteraves.

**Des baisses de population de pucerons verts** ont été constatées dans les modalités avec fétuques, mais le transfert des composés n'a pas encore été observé, et la concurrence des fétuques sur les betteraves a été trop importante.

**De nouveaux essais** seront conduits sous serre, et au champ.