

INNOVATION

Nouvelles techniques de phénotypage des variétés

Depuis les premiers survols d'essais par drone en 2016, l'ITB dispose de davantage de techniques pour suivre le développement des betteraves. Les méthodes d'analyse évoluent : de la télédétection classique à la stéréoscopie en passant par les réseaux de neurones. Pour les variétés, l'enjeu est d'apporter de nouveaux critères d'évaluation de leur performance.

Le phénotypage permet de mieux décrire le fonctionnement des plantes. Il fait progresser la connaissance du comportement des variétés en interaction avec l'environnement. Aux côtés des variables de phénotypage classiques (rendement, notations maladies...), des méthodes sont mises au point pour caractériser le développement et la croissance du couvert. Elles sont fondées sur des mesures réalisées par des capteurs, qu'ils soient embarqués sur drone ou utilisés au sol. Les informations extraites des images apportent des précisions à la fois sur le peuplement, l'architecture du couvert et son contenu biochimique. Des travaux plus prospectifs sont également menés sur la reconnaissance automatisée des maladies foliaires.

Suivi de la couverture foliaire

Aujourd'hui, grâce à des appareils photo performants et des capteurs multispectraux, on sait 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 microparcelle vue à la verticale. Cette mesure simple décrit de manière efficace

le développement de la culture. La dynamique de couverture foliaire est un bon indicateur du potentiel photosynthétique des betteraves.

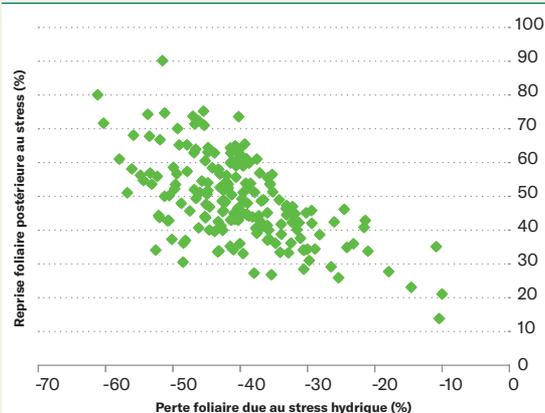
Impact du stress hydrique

Lors d'une sécheresse marquée comme celles des étés 2018 et 2019, la quantification de la perte de surface foliaire verte est un bon indicateur de la sensibilité au stress hydrique. Cette mesure a complété l'analyse de la productivité des variétés sur les sites d'expérimentation les plus touchés par le stress hydrique. La combinaison de ces deux informations a permis de constituer une liste des variétés moins sensibles au stress hydrique (voir *dernier cahier technique n° 1101*). Un des essais variétés mené en 2019 a été suivi par six vols de drone entre mai et septembre. À chaque date, le drone survole les 200 microparcelles en moins de cinq minutes. Entre les vols du 5 juillet et 1^{er} août, le taux de couverture foliaire est passé de 70 % à 45 % en moyenne, avec une forte différence de comportement selon les variétés, puis entre le 1^{er} et le 30 août, 22 mm de pluies combinées à une irrigation de 40 mm ont entraîné une importante reprise de végétation. La relation entre le niveau de perte de feuilles pendant la première période et le niveau de repousses pendant la deuxième période est illustré en figure 1. Elle montre que les variétés qui ont perdu le plus de feuilles pendant le stress hydrique tendent à fabriquer plus de repousses foliaires quand l'eau redevient disponible. Ces mêmes variétés ont les niveaux de richesse à la récolte plus faibles. L'impact du stress hydrique se mesure donc par différents indicateurs qui doivent être approfondis pour mieux comprendre les mécanismes de tolérance variétale et l'incidence sur le rendement en sucre.

Évaluer le statut azoté des betteraves

La chlorophylle est un bon indicateur de la capacité photosynthétique de la plante, elle est aussi corrélée à la quantité d'azote absorbée. Estimer des variables aussi complexes que la teneur en chlorophylle des feuilles nécessite plus de précision que ce que permet un simple appareil photo. C'est pour cela que

Vers de nouveaux indicateurs de stress hydrique



Relation entre la perte de feuilles pendant la période de stress hydrique et les repousses foliaires au retour des pluies.

CHIFFRE CLÉ

77 761

nombre de photos prises par drone en 2019.

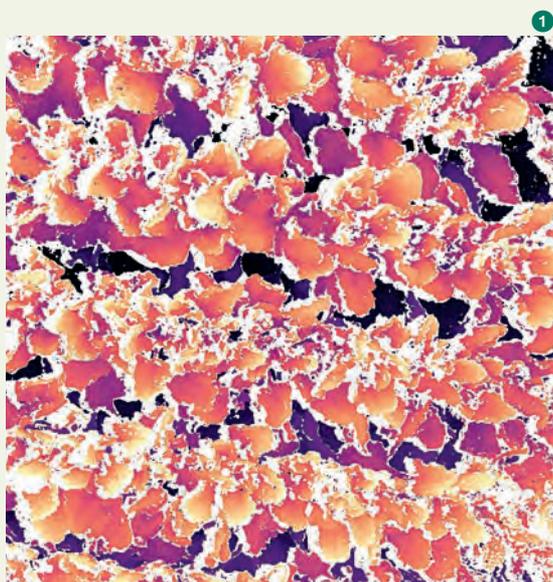
5 minutes

temps mis par un drone pour survoler un essai variétés.

1 Pilote de drone et sa machine équipée d'un capteur optique au départ d'un vol.

2 3 La segmentation consiste à séparer les pixels verts de feuilles des pixels de sol ou de feuilles sénescentes.
2 pixels de feuilles vertes.
3 pixels de feuilles sénescentes ou de sol.





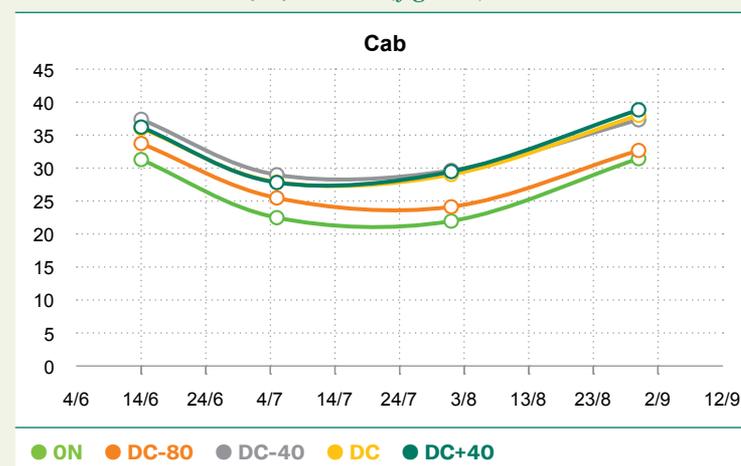
le drone peut également être équipé d'une caméra multispectrale. Ce capteur est capable de mesurer précisément la quantité de lumière réfléchiée par la végétation dans des longueurs d'ondes bien délimitées. Le taux de chlorophylle est ensuite calculé grâce à des formules mathématiques calibrées spécialement pour la betterave. Ces développements ont été réalisés dans le cadre du projet Aker. L'ITB étudie actuellement l'intérêt de ces mesures pour comparer les besoins azotés des variétés. En attendant de pouvoir évaluer l'efficacité azotée des variétés commerciales, certaines mesures confirment les résultats obtenus sur les essais de fertilisation. Les doses croissantes d'azote fournies se retrouvent dans la teneur en chlorophylle des feuilles. En effet, la figure 2 montre que les valeurs de chlorophylle suivent le gradient des apports d'azote : le témoin sans azote présente le niveau de chlorophylle le plus bas suivi de la sous-fertilisation DC-80 (dose conseillée minorée de 80 kg/ha). À partir de DC-40, la teneur en chlorophylle semble atteindre un niveau de saturation, laissant penser que la dose optimale était DC-40. Cela est confirmé

à la récolte par les écarts de rendements. Ces premiers résultats méritent d'être confirmés mais laissent penser que ces mesures pourront être valorisées pour évaluer le statut azoté des betteraves.

LITERAL : un dispositif de phénotypage passe-partout

Comme le phénotypage ne s'adresse pas uniquement à de très grands essais variétaux, l'ITB est impliqué dans la mise au point d'un dispositif d'acquisition allégé dans le cadre du projet LITERAL, financé dans le cadre de l'AAP 2018 du Casdar RT. Encore à l'état de prototype, l'équipement est constitué d'une perche supportant les capteurs optiques, et d'un sac à dos contenant les batteries et l'électronique assurant l'enregistrement des données. Une tablette permet à l'expérimentateur de valider la saisie des données. Le projet a ainsi pour objectif de faciliter la manipulation des instruments de phénotypage, mais aussi le stockage et le traitement des données acquises. Une plateforme d'analyse sera mise à disposition des partenaires et permettra de mutualiser les procédures communes aux diverses cultures.

Teneurs en chlorophylle mesurées sur l'essai azote de Charmont (10) en 2019 (figure 2)



1 Deux photos légèrement décalées permettent d'estimer la hauteur de chaque pixel, symbolisée par un dégradé allant du noir (sol) à l'orange (feuille haute).

2 Test d'une perche de phénotypage au champ.

En 2019, l'ITB a participé aux premiers tests matériels pour éprouver l'ergonomie et la fiabilité de l'appareillage scientifique. Une vingtaine de variétés de betteraves ont été photographiées sous toutes les coutures à cette occasion. Le léger décalage de position des appareils photo lors des prises de vue a été exploité par la suite pour étudier la géométrie des différents géotypes grâce à la technique de stéréovision. Lorsqu'une feuille de betterave est prise en photo par deux appareils côte à côte, sa position apparaît décalée entre les deux images. Cet écart est lié à la configuration des capteurs mais dépend aussi directement de la distance entre la feuille et l'objectif. La méthode de stéréovision permet donc d'estimer la structure tridimensionnelle des plantes. Comme l'illustre l'image en dégradés de couleurs, le limbe des feuilles se distingue (en rose et en orange) comme étant surélevé par rapport au sol (figuré ici en noir). Le changement de couleur est d'autant plus rapide que les feuilles sont dressées, comme c'est le cas ici pour le cœur des rosettes. Cet algorithme sera amélioré au long du projet pour fournir une mesure de profondeur la plus précise possible. Cette information d'architecture foliaire sera utile par la suite, pour mieux connaître les relations entre la structure du couvert et la présence de bioagresseurs, d'adventices ou la capacité d'interception du rayonnement et le rendement final.

CHIFFRES CLÉ

18 150

nombre de betteraves détectées en moins de 10 minutes sur un essai varié.

256 000 000

nombre de comparaisons de pixels nécessaires pour générer l'image de profondeur.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR UN PHÉNOTYPAGE TOUJOURS PLUS PRÉCIS

L'ITB s'est investi dans ces technologies afin d'améliorer ses notations d'expérimentation. La première utilisation pour la filière a été le classement d'hétérogénéité entre plantes au sein d'une même variété (voir BF n° 1077, n° 1095). Un partenariat avec l'UMT CAPTE avait permis en 2018 d'apprendre à un modèle à reconnaître les plantes. L'entraînement de l'algorithme, réalisé alors

sur quelques milliers de betteraves, s'est révélé robuste en 2019. Cette année n'a pas nécessité de nouvelle phase d'apprentissage : le réseau est assez fiable. Ni les conditions de luminosité, ni la couleur du sol, ni les variations de ports foliaires n'ont perturbé la détection. Une variété avec des plantes de taille homogène facilitera la conduite de la culture. Pour le désherbage, la

gestion des interventions sera facilitée par des betteraves au même stade, que ce soit pour des interventions chimiques ou mécaniques. À la récolte, on pourra régler plus facilement le scalpage si le niveau d'émergence des betteraves est homogène, ce qui réduira les risques de pertes de matière. L'ITB compte bien tirer parti de ce nouvel outil, en complément des notations traditionnelles.



Betteraves détectées individuellement même à un stade de chevauchement des feuilles.

CE QU'IL FAUT RETENIR

- La **segmentation sol-végétation** permet de quantifier simplement le développement foliaire de la betterave.
- Les **informations apportées par les nouvelles technologies** fournissent de nouveaux critères de choix variétaux.
- La **mesure de la teneur en chlorophylle des feuilles** permet d'imaginer le criblage de variétés plus économes en intrants.
- Ces **nouvelles mesures** apporteront des connaissances sur les interactions entre plantes et agents pathogènes.
- Le **projet LITERAL va fournir un outil léger et complémentaire au drone**, déjà capable de mesurer l'architecture foliaire.

EXPÉRIMENTATION

Betterave bio : bilan provisoire des essais ITB

Les essais ITB ont montré des variabilités importantes de rendement selon les modalités. Le repiquage doit encore démontrer son intérêt. Sur une campagne avec peu de maladies foliaires, le salissement et les ravageurs ont principalement affecté la productivité.



CHIFFRE CLÉS

10

c'est le nombre moyen d'interventions mécaniques réalisées sur les sites ITB pour préparer le sol, semer, et désherber les betteraves.

Le site champenois a subi des pertes de pieds liées notamment au binage en perpendiculaire.

L'ITB a mené trois plateformes en 2019 sur la betterave bio, avec différentes méthodes d'implantation évaluées (cf. cahier technique ITB BF n°1097) : le repiquage, le semis en carré et le semis classique pour l'Aisne, le repiquage et le semis classique pour l'Oise et le semis en carré pour la Champagne.

Selon les essais, les facteurs ayant limité le rendement diffèrent. En Champagne, un rendement de 47 t/ha a été obtenu. Le potentiel a été altéré par des pertes de pieds du fait d'une exposition assez longue à un complexe de ravageurs (blaniules, tipules...). Le salissement a été moyennement maîtrisé et a aussi contribué, avec la période de sec, à dégrader le potentiel. L'état sanitaire s'est quant à lui maintenu à un bon niveau sans intervention fongicide, mais grâce à une variété avec un bon profil de tolérance.

Dans l'Oise, la récolte de l'essai n'a pas été conduite au moment de la rédaction de l'article. Cependant, le principal facteur limitant sera le salissement de la parcelle, très insatisfaisant. Il est lié à un manque de disponibilité et de main d'œuvre pour intervenir ainsi qu'à un matériel peu adapté. La partie repiquée a tout même permis une meilleure maîtrise de l'enherbement.

Dans l'Aisne, une précaution particulière dans l'analyse porte sur le fait que les dates d'implantation

diffèrent selon les modalités, des écarts de rendement sont constatés entre les modalités s'expliquant par différents facteurs – date d'implantation, population... (tableau 1).

L'impact du repiquage sur les composantes de rendement

Si le comportement des betteraves semées en carré est quasiment identique à celui d'un semis classique, il n'en est pas de même pour celles qui ont été repiquées. Plusieurs enseignements intéressants ressortent à ce sujet sur l'essai conduit dans l'Aisne. L'avance de végétation prise par les plants avant leur implantation se traduit directement au champ. Le développement foliaire est bien supérieur pour la partie repiquée par rapport à la partie semée le même jour. Cette technique semble donc particulièrement intéressante pour maintenir un potentiel de production élevé malgré un semis tardif.

Un inconvénient important ressort tout de même avec cette méthode : la racine se développe en formant une boule dégradant la qualité de la récolte (taux de fourchage important) et limitant le volume de prospection se répercutant ainsi sur le prélèvement de l'eau et des nutriments au cours du cycle. Travailler la qualité du plant ou encore le stade de la betterave repiquée sont des potentielles pistes à envisager pour y remédier. Une autre constatation faite sur l'essai est un développement plus important des maladies foliaires pour cette modalité avec une exposition plus longue due à l'avance de végétation. Le résultat de rendement obtenu dans l'Aisne, autour de 53 t/ha, est décevant, mais a été impacté par une intervention au mois de juillet, déchaussant une part conséquente des betteraves.

Des performances à resituer dans leur contexte

Les performances de production en conduite bio sont multifactorielles. Elles dépendent bien entendu du contexte de la parcelle, couplé aux contraintes d'intervention et au niveau considéré comme satisfaisant pour le salissement, variant selon le betteravier. Le tableau 2 illustre cela en pointant la différence qu'il peut y avoir au niveau de la mobilisation de main-d'œuvre. La performance d'une production bio doit nécessairement être analysée avec ce contexte. Ces différences se traduisent bien évidemment au niveau des charges opérationnelles. A titre d'exemple, dans l'Aisne, la partie repiquée n'a mobilisé que neuf heures de désherbage manuel, le semis en carré, trente-huit heures, et le semis classique, cent deux heures. Ces charges doivent être confrontées aux résultats de productivité afin d'analyser les performances économiques. Ces dernières seront prochainement diffusées sur le site internet de l'ITB.

Composantes de rendement de l'essai conduit dans l'Aisne (tableau 1)

	Semis en carré	Semis classique	Repiquage
Productivité	66,5		53
Date de semis	05/04	25/04	25/04
Population récolte	61 000	88 000	59 000
Date estimée de couverture à 60 %	19/07	02/08	11/06
Notation gravité cercosporiose	1,5	2	5,5
Ravageurs	Pas de dégâts relevés		
Note de satisfaction désherbage (0 à 10)	6,5	8	9
Alimentation minérale et hydrique	Stress hydrique estival		
Betteraves fourchées (%)	23	22	94

Différences d'interventions selon les essais entre modalités semées classiquement (tableau 2)

	Aisne	Champagne	Oise
Nombre d'interventions mécaniques (faux semis, préparation sol, désherbage mécanique)	11	10	9
Désherbage manuel (h/ha)	102h/ha	30h/ha	15h/ha
Niveau de satisfaction du désherbage avant récolte	Bon	Moyen	Moyen à faible

CE QU'IL FAUT RETENIR

Le semis en carré permet de limiter le recours au désherbage manuel, mais sa mise en place reste difficile. Si le repiquage a clairement un intérêt dans la conduite du désherbage, il doit encore prouver son intérêt au niveau de la productivité pour justifier son coût très élevé.

BILAN

Impact de la jaunisse en France en 2019

Pour la première année sans traitement de semences à base de néonicotinoïdes, l'ITB fait le point dans ce cahier technique sur l'impact de la jaunisse sur le territoire.



État des lieux de la présence de jaunisse à l'automne 2019

Cet automne, les équipes régionales de l'ITB ont effectué des notations jaunisse sur plusieurs centaines de parcelles. La fréquence de parcelles présentant au moins un rond de jaunisse ainsi que la surface moyenne atteinte (gravité) ont été relevées. À l'échelle nationale, la fréquence moyenne est de 37%, avec de fortes disparités régionales : plus de 70 % pour la Normandie, la Somme et le Nord-Pas-de-Calais ; environ 50 % en Île-de-France ; autour de 30 % pour l'Oise et le Centre-Val-de-Loire et moins de 10 % pour l'Aisne et la Champagne (Figure 1). En ce qui concerne la gravité, celle-ci reste très faible avec en moyenne 1,5 % de la surface touchée à l'échelle nationale. Seules les régions de

↑ Ronds de jaunisse dans une parcelle de Seine-Maritime à l'été 2019.

CHIFFRES CLÉS

1,5%

la gravité moyenne (% surface touchée) de la jaunisse en 2019.

73%

la prévalence du BChV en 2019, virus de la jaunisse modérée majoritaire en France.

CE QU'IL FAUT RETENIR

- Le développement de la jaunisse a été relativement faible en 2019 malgré l'arrêt des néonicotinoïdes, qui a été compensé par 1,5 traitements en végétation en moyenne.
- Les virus de la jaunisse modérée représentent 90% des virus détectés en France.
- La lutte contre les pucerons doit cibler uniquement les pucerons verts avec les produits recommandés par l'ITB.

Normandie, la Somme et le Nord-Pas-de-Calais présentent des gravités supérieures à 2,5 % avec un maximum de 4 % en Normandie. En conclusion, le développement de la maladie aura été relativement faible cette année, mais il aura fallu compenser l'arrêt des néonicotinoïdes par une surveillance accrue et jusqu'à trois traitements insecticides selon les niveaux de pression pucerons au printemps.

ExTraPol* cartographie les virus sur le territoire

Dans le cadre du projet Casdar AMS ExTraPol en collaboration avec le GEVES et l'INRA de Colmar, la prévalence des différents virus de la jaunisse sur le territoire français a été mesurée. En octobre dernier, 96 prélèvements de betteraves individuelles ont été effectués par les délégations régionales de l'ITB dans quatorze départements couvrant l'ensemble des grandes régions betteravières. Les feuilles collectées ont ensuite été soumises à une analyse sérologique au GEVES, suivie pour les échantillons positifs d'une analyse moléculaire à l'INRA. Les polérovirus responsables de la jaunisse modérée (BMYV et BChV) sont détectés dans 94 % des échantillons analysés, dont 73 % pour le seul BChV, et sont donc ultramajoritaires. Le BYV, responsable de la jaunisse grave, n'est détecté que dans 7 % des échantillons. Les co-infections ne représentent que 4 % des analyses (Figure 2).

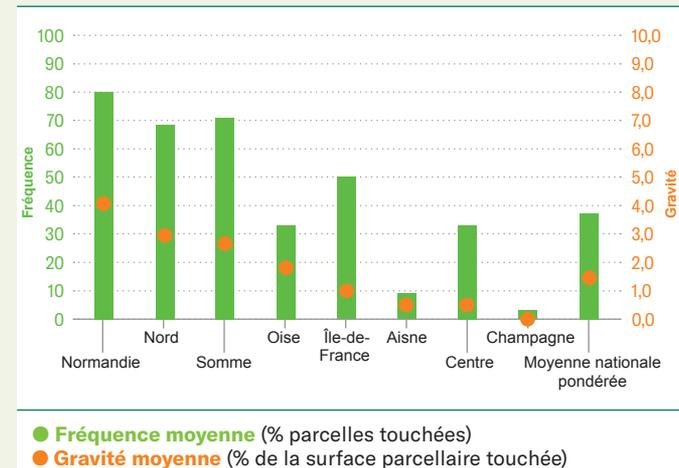
Programme insecticide contre les pucerons

Plusieurs essais ont été mis en place afin d'évaluer l'incidence de la jaunisse en fonction de la stratégie insecticide, qui s'appuyait sur les deux seuls produits efficaces et homologués en 2019 : le Teppeki à base de flonicamide et le Movento (dérogation 120 jours en 2019) à base de spirotetramate.

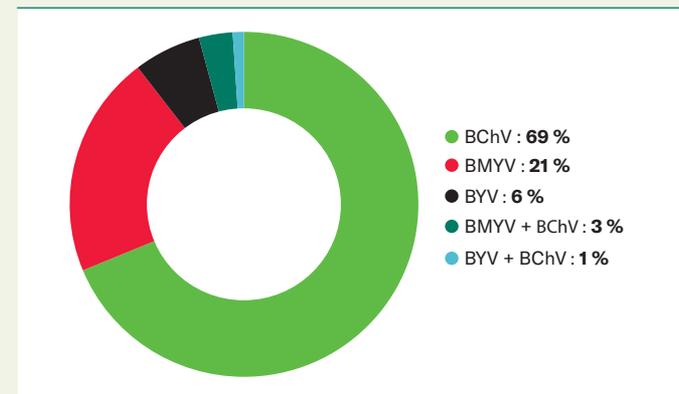
La figure 3 présente les résultats d'un essai mené dans le Nord-Pas-de-Calais. En termes de gravité jaunisse, par rapport au témoin non traité à 12 % de jaunisse, les programmes avec un traitement aphicide permettent de réduire l'impact de la jaunisse, notamment avec un T1 Teppeki au seuil, touché à seulement 3,5 %. Les programmes avec deux traitements aphicides permettent un excellent contrôle de la jaunisse avec une gravité autour de 1 %. De plus, on observe une différence de gravité jaunisse de près de 4 % entre un traitement bien positionné et un traitement trop tardif.

Projet Écophyto financé dans le cadre de l'AAP « CASDAR semences et sélection végétale – Appui méthodologique aux sections (AMS) ». Plus d'infos sur le site de l'ITB www.itbfr.org

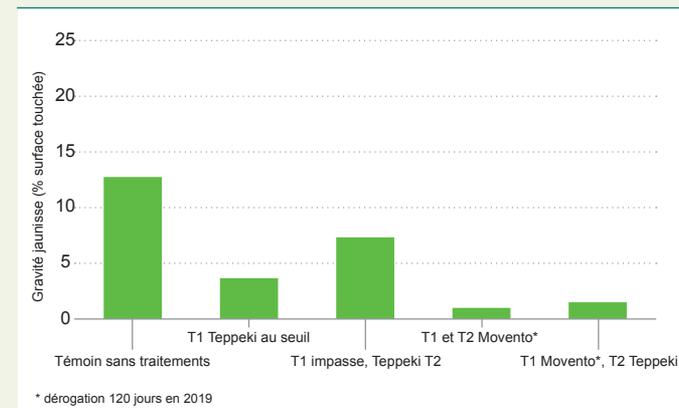
État des lieux de la présence de jaunisse à l'automne 2019 (Figure 1)



Distribution des virus de la jaunisse sur le territoire français à l'automne 2019 (Figure 2)



Impact de la jaunisse en fonction du programme de traitement insecticide Nord-Pas-de-Calais - 2019 (Figure 3)



FAUT-IL CRAINDRE LE PUCERON NOIR APHIS FABAE?

Selon les études disponibles, les capacités de transmission des deux principaux virus de la jaunisse modérée (BMYV et BChV) par *Aphis fabae* sont pratiquement nulles. Il est en revanche un vecteur de la jaunisse grave (BYV) mais ses capacités de transmission et de

dissémination sont très inférieures à celles de *Myzus persicae*, et la prévalence du BYV est très faible en France. En tout état de cause, le puceron noir représente un risque minime vis-à-vis de la jaunisse et la lutte doit s'effectuer uniquement contre les pucerons verts.