

IV. Perspectives

1. SprayVision : un nouvel OAD Agromet 198
2. Nouvelles variétés inscrites au Catalogue National belge ... 202
3. Nouvelles cultures ? 207
4. Le désherbage mécanique est-il une option en culture de céréales conventionnelle ? 217
5. L'effet des traitements de semence sur la mycorhization du froment d'hiver 222
6. Caractériser le pouvoir couvrant des céréales 227

1. SprayVision : un nouvel OAD Agromet

D. Rosillon¹, J. Huart¹, M. Bonnave², J. Lebrun³, D. Dossantos³, B. Durenne⁴, B. Weickmans⁴, F. Henriët⁵



SprayVision est un nouvel outil d'aide à la décision (OAD) développé par le CRA-W, en collaboration avec le CARAH et PROTECT'eau, qui permet d'identifier à la parcelle les fenêtres optimales de pulvérisation sur base des prévisions météorologiques pour les 3 prochains jours.

Quatre types de produits sont concernées : les herbicides racinaires, les herbicides foliaires, les fongicides/insecticides et les régulateurs.

SprayVision est disponible en libre accès sur la plateforme **Agromet.be**, dans le menu « OAD ».

1.1 La pulvérisation, trois contraintes ...

Il est bien connu des agriculteurs que les conditions météorologiques ont un impact considérable sur la réussite des pulvérisations. Cependant, ce ne sont pas les seules contraintes à intégrer ...

1.1.1 Contraintes agronomiques

L'efficacité d'un produit phytosanitaire dépend en bonne partie des conditions météorologiques. L'hygrométrie est le caractère le plus important. En effet, l'hygrométrie, en favorisant la dilatation de la cuticule des plantes, influence directement la pénétration des produits et donc leur efficacité. En outre, s'il fait trop sec, le produit sera rapidement évaporé, avant qu'il ne puisse être absorbé par la plante.

La température est déterminante pour l'efficacité des produits. Des températures trop élevées augmentent le risque de dessiccation des gouttelettes (le produit est évaporé avant d'atteindre la plante) et limitent la réceptivité des plantes (qui se ferment pour éviter de transpirer). Des températures trop faibles ralentissent l'activité des plantes, ce qui peut empêcher le déplacement des produits (la systémie) à l'intérieur de ces dernières et influencer négativement l'efficacité et/ou la sélectivité.

Une bonne humidité du sol est également indispensable pour favoriser l'absorption des produits racinaires par les plantes.

Traditionnellement, on estime que l'hygrométrie optimale se situe à 70% ou plus et on conseille généralement de pulvériser en début de matinée ou en début de soirée pour bénéficier d'une humidité relative suffisante. Si cette règle empirique n'est pas fautive, force est de constater

¹ CRA-W – Département Agriculture et milieu naturel – Unité Agriculture, territoire et intégration technologique

² CARAH – Responsable développement Vigimap

³ PROTECT'eau

⁴ CRA-W – Département Durabilité, systèmes et perspectives – Unité Sols, Eau et Productions intégrées

⁵ CRA-W – Département Sciences du vivant – Unité Santé des Plantes & Forêts

qu'il est à présent possible d'être bien plus précis en intégrant les données de prévisions météorologiques horaires et en affinant l'avis de traitement aux conditions météorologiques prévues.

1.1.2 Contraintes réglementaires

Depuis 2018, une nouvelle contrainte réglementaire définie dans l'arrêté du gouvernement wallon du 14/06/2018 précise que « *l'application de produits phytopharmaceutiques peut débuter uniquement si le vent a une vitesse inférieure ou égale à 20km/h, soit 5,56m/s.* »⁶

1.1.3 Contraintes environnementales

La troisième contrainte à prendre en considération est d'ordre environnemental à travers le risque de dérive. PROTECT'eau nous rappelle qu'une dérive de pulvérisation est « *la perte non intentionnelle de produit phytopharmaceutique, par voie aérienne en dehors de la parcelle traitée, lors de l'application d'un produit. La dérive peut avoir pour conséquence la contamination des eaux de surface et provoquer des dommages aux zones riveraines ou aux cultures adjacentes* »⁷.

La réglementation, en imposant le seuil maximal de 20km/h répond en partie à ce risque mais pour une pulvérisation raisonnée, ces seuils de vitesse de vent doivent être affinés. En clair, ce n'est pas parce qu'une fenêtre de pulvérisation n'est pas interdite qu'elle est conseillée. Dans SprayVision, la vitesse du vent a été répartie en plusieurs sous-classes afin de préciser le conseil de pulvérisation et de dépasser un avis de pulvérisation binaire « Autorisé / Interdit ».

Le risque de perte de produit par lessivage est une deuxième contrainte environnementale à prendre en compte. Ainsi, SprayVision intègre le risque de précipitations et déconseille une pulvérisation en cas de risque de pluie sauf pour les herbicides racinaires, sensibles à la lixiviation, SprayVision alerte également l'agriculteur s'il y a un risque de rosée « perlante » et l'invite à visiter sa parcelle avant de traiter.

En résumé :

La particularité de **SprayVision** est de **combiner** en un outil les trois contraintes liées à la pulvérisation : les **contraintes agronomiques** (efficacité/sélectivité des produits), les **contraintes réglementaires** (pulvérisation interdite si vent > 20km/h) et les **contraintes environnementales** (risques de dérive ou de lessivage).

1.2 Données météorologiques

SprayVision se base sur les prévisions météorologiques horaires pour les 3 prochains jours. Il s'agit de prévisions locales extraites d'une grille fournie par l'IRM selon une résolution de 1km x 1km. La vitesse du vent est un paramètre fondamental car il identifie le risque de dérive. Cependant, les prévisions météorologiques sont très souvent des vitesses de vent mesurées à

⁶ <http://environnement.wallonie.be/legis/general/dev016.htm>

⁷ Plaquette PROTECT'eau, Agr'eau « Bonnes conditions de pulvérisation ». https://www.protecteau.be/sites/default/files/2021-08/bonnes_conditions_pulverisation.pdf

des hauteurs éloignées du sol (10m, 30m voire parfois 100m de haut). Il a donc fallu adapter les prévisions de vent pour les « descendre » à 2m. Pour l'élaboration de SprayVision, un modèle de descente de hauteur a été développé par le CRA-W sur base de données IRM enregistrées à Humain qui ont la particularité de mesurer sur un même site le vent à une hauteur de 2m et 10m.

La figure 1 compare les vitesses de vent mesurées à 10m de haut (courbe du haut), les vitesses de vent mesurées à 2m de haut (courbe du milieu) et les vitesses de vent simulées à 2m (courbe du bas, c'est-à-dire les vitesses de vent descendues à 2m à partir des vitesses de vent à 10m). Ce graphique illustre une période de 10 jours qui regroupe une période très venteuse (14 et 15 janvier 2020) et une période calme (19 au 23 janvier 2020). Visuellement, on constate que les simulations (courbe du bas) suivent généralement bien les observations à 2m (courbe du milieu) autant dans la période calme que venteuse.

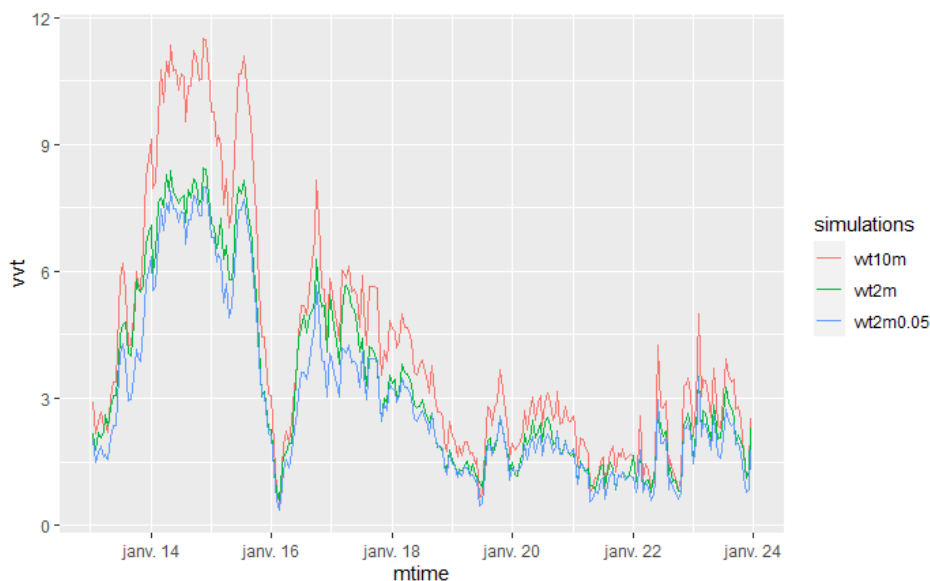


Figure 1 – Comparaison des vitesses de vent mesurées à 10m (haut) et 2m (milieu) avec les vitesses à 10m descendues à 2m (bas).

1.3 Utiliser SprayVision⁸

SprayVision est accessible gratuitement à partir de la plateforme **Agromet.be**, menu « OAD ». L'outil est en libre accès, il n'est donc pas nécessaire de se créer un compte.

Les étapes à réaliser sont les suivantes :

1. Choisir le type de produit à pulvériser parmi les 4 disponibles : les herbicides racinaires, les herbicides foliaires, les fongicides/insecticides et les régulateurs.
2. Sélectionner sa localité voire sa parcelle.
3. Lancer la simulation en cliquant sur le bouton « Chargement de l'analyse ».

L'outil génère alors, pour la parcelle et le type de produit désiré, une horloge de pulvérisation. Cette horloge estime jour par jour (aujourd'hui, lendemain et surlendemain) et pour chacune

⁸ Description de l'utilisation sur base de l'outil disponible au 24 janvier 2023. Des différences pourront apparaître avec les versions futures de l'outil mais le principe reste le même.

des 72 prochaines heures la qualité des conditions de pulvérisation parmi les 5 classes suivantes :

- Optimale / Correcte / Limite / Déconseillée / Interdite

L'horloge est constituée d'un cercle intérieur qui correspond aux heures du matin (01h – 12h) et d'un cercle extérieur qui correspond aux heures de l'après-midi (13h-24h).

En cliquant sur une heure particulière, plusieurs informations complémentaires apparaissent :

- Dans le cadre noir, le conseil détaille les conditions de pulvérisation d'un point de vue agronomique (efficacité/sélectivité du produit) et risque environnemental (dérive) pour l'heure sélectionnée.
- L'élément météorologique le plus limitant apparaît au centre de l'horloge. Dans l'exemple ci-dessous, le thermomètre indique que la température est l'élément principal qui dégrade les conditions pour la pulvérisation d'un herbicide racinaire le 24/01/2023 9h du matin. La température est trop basse pour une bonne efficacité/sélectivité du produit, c'est pourquoi la pulvérisation est déconseillée.

Conseils de pulvérisation pour les herbicides racinaires



Figure 2 – Capture d'écran de SprayVision - Simulation pour la pulvérisation d'un herbicide racinaire.

SprayVision est également intégré sur VigiMAP, la plateforme d'avertissement mildiou développée par le CARAH, de sorte à guider et faciliter le travail des producteurs de pommes de terre.

ATTENTION, l'utilisation de SprayVision ne dispense pas d'**appliquer** les autres **bonnes pratiques de pulvérisation** (buses anti-dérive, réglage de la pression, hauteur de rampe, respect des zones tampon, ...). SprayVision est à utiliser **en complément des avertissements agricoles** tels que les avertissements CePiCOP, VigiMAP (avertissement mildiou) ou l'OAD Fongiblé, qui identifient les périodes durant lesquelles une pulvérisation est requise.

2. Nouvelles variétés inscrites au Catalogue National belge

Autorité wallonne (RW)¹

2.1 En froment d'hiver

Une variété ne peut être multipliée ou commercialisée en Belgique que si elle est inscrite au Catalogue National belge des variétés des espèces de plantes agricoles et de légumes ou si elle est inscrite au catalogue communautaire des variétés des espèces de plantes agricoles et de légumes.

Les catalogues communautaires (EU) des variétés des espèces de plantes agricoles et de légumes regroupent toutes les informations des catalogues nationaux de tous les États membres. Il s'agit d'une liste de variétés de plantes agricoles et de légumes qui peuvent être commercialisées ou multipliées dans l'EU.

Les catalogues belges sont établis à partir de données gérées par les autorités régionales en vertu de protocoles interrégionaux. Le Comité GTIW (Groupe Technique Interrégional Werkgroep) constitué des Comités wallon et flamand, se réunit chaque année afin de statuer sur les résultats des variétés en cours d'inscription. Pour les céréales, les décisions du Comité GTIW s'appuient sur les rapports des Offices d'examen belges OBEV (ILVO plant – Gent et le département Productions Agricoles – CRAW Gembloux).

En froment d'hiver, après deux saisons d'évaluation, cinq nouvelles variétés ont été inscrites au Catalogue National belge en 2022. Les variétés inscrites sont ; **WPB Newton**, **SU Shamal**, **LG Optimist**, **LG Farrier** et **Mindful**.

Les essais, en froment d'hiver, ont été réalisés dans neuf centres situés dans les régions agricoles suivantes : Condroz (2), Limoneuse (3), Sablo-limoneuse (2) et Polders (2). Les essais sont conduits sans régulateur de croissance et sans protection fongicide. La fumure est adaptée en fonction du précédent et des reliquats azotés.

¹ Service Public de Wallonie (SPW) – Agriculture Ressources naturelles Environnement - Direction de la Qualité et du Bien-être Animal (DGBEA). <https://agriculture.wallonie.be/catalogues-nationaux-des-varietes>

2.1.1 Présentation des variétés

Le tableau 1 présente les mandataires et obtenteurs pour les variétés inscrites en 2022 ainsi que pour les variétés témoins.

Tableau 1 – Obtenteurs et mandataires des variétés témoins et des variétés inscrites au Catalogue National belge en 2022 en froment d’hiver.

Nom	Code catalogue	Obtenteurs	Mandataires*
WPB Newton	RW 770455	Wiersum Plantbreeding B.V.	Jorion Philip-Seeds
SU Shamal	VG 770544	Nordsaat Saatucht	Saaten Union
LG Optimist	VG 770552	Limagrain Europe	Aveve Zaden
LG Farrier	VG 770554	Limagrain Europe	Limagrain Belgium
Mindful	VG 770556	KWS UK Ltd	Aveve Zaden
KWS Talent	témoin	KWS Lochow GMBH	Aveve Zaden
Chevignon	témoin	Saaten Union recherche SAS	SCAM
Avignon	témoin	Ets Lemaire Deffontaines	Jorion Philip-Seeds
Campesino	témoin	Secobra Saatucht	Aveve Zaden
Solange CS	témoin	Lidea	SCAM
Cubitus	témoin	Secobra Recherches	Jorion Philip-Seeds
SU Ecusson	témoin	Saaten Union recherche SAS	Aveve Zaden

* Mandataires référencés au moment de l'inscription. Les mandats ont pu évoluer par la suite.

2.1.2 Résultats

Le tableau 2 présente les rendements (en kg/ha et en % par rapport à la moyenne des témoins) obtenus durant les deux saisons d'évaluation.

Tableau 2 – Compilation des résultats des rendements des saisons 2020-2021 et 2021-2022.

Variétés	Rendements					
	2021 8 centr.*		2022 8 centr.**		Moyenne pondérée	
	Kg/ha	%	Kg/ha	%	Kg/ha	%
KWS Talent	7904	90	10378	85	9141	87
Chevignon	9323	106	13052	107	11187	107
Avignon	8435	96	12316	101	10376	99
Campesino	8750	100	11636	95	10193	97
Solange CS	8484	97	13138	108	10811	103
Cubitus	8781	100	11791	97	10286	98
SU Ecusson	9798	111	12932	106	11365	108
Moyenne des témoins	8782	100	12177	100	10480	100
WPB Newton	9219	105	12951	106	11085	106
SU Shamal	9221	105	13666	112	11444	109
LG Optimist	9062	103	13086	107	11074	105
LG Farrier	8409	96	13817	113	11113	106
Mindful	9229	105	12680	104	10955	104

* un essai en région Polders a été déclassé suite à un problème survenu lors de la récolte.

** un essai en région limoneuse a été déclassé par manque d'homogénéité.

IV. Perspectives

Le tableau 3 présente les résultats obtenus pour différents critères d'évaluation des variétés. Le tableau 4 présente la compilation des résultats des valeurs technologiques mesurées lors des deux saisons d'examen.

Tableau 3 – Compilation des résultats des saisons 2020-2021 et 2021-2022 (échelle (1-9) : 9 représente la cote la plus favorable).

Variétés	Froid	Verse	Rouille jaune	Rouille brune	Oïdium	Fusariose	Nécroses foliaires	Hauteur plante	Précocité épiaison *
	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	cm	<> jours
KWS Talent	7,9	8,7	4,2	7,8	9,0	8,3	6,6	101	2
Chevignon	7,0	8,6	8,4	6,9	7,6	7,5	7,3	92	0
Avignon	6,4	8,6	8,7	5,7	8,3	8,6	6,3	93	0
Campesino	5,9	8,7	4,8	7,8	8,4	7,3	6,5	92	-1
Solange CS	5,4	8,6	8,9	7,2	7,8	7,3	6,8	92	2
Cubitus	6,5	9,0	8,2	7,0	6,2	7,6	7,2	87	-1
SU Ecusson	6,8	8,8	8,8	7,0	8,5	7,9	7,5	96	2
Moyenne des témoins	6,5	8,7	7,4	7,0	8,0	7,8	6,9	93	0
WPB Newton	6,4	8,9	8,8	5,8	8,8	8,3	7,1	91	3
SU Shamal	6,9	8,1	7,6	7,7	8,8	8,3	6,7	93	0
LG Optimist	7,6	7,7	7,2	8,5	7,4	8,8	6,6	96	2
LG Farrier	7,0	8,9	8,9	8,3	8,5	8,3	6,4	87	4
Mindful	6,4	8,7	7,5	6,4	8,7	8,0	6,7	90	3

* Témoin épiaison : Chevignon

Tableau 4 – Compilation des valeurs technologiques des saisons 2020-2021 et 2021-2022.

Variétés	Poid de mille grains	Poids de l'hectolitre	Temps de chute de Hagberg	Teneur en protéines	Test de Zélény	Rapport Z/P
	g	Kg/hl	s	%	ml	-
KWS Talent	39,5	74,2	342	11,1	35	3,1
Chevignon	43,0	75,0	337	11,0	31	2,8
Avignon	45,7	75,7	294	11,6	37	3,2
Campesino	40,7	74,7	322	11,1	30	2,7
Solange CS	42,0	74,0	296	11,8	30	2,5
Cubitus	42,1	76,8	298	12,1	45	3,7
SU Ecusson	44,0	75,4	247	11,2	17	1,5
Moyenne des témoins	42,4	75,1	305	11,4	32	2,8
WPB Newton	46,4	75,1	369	11,4	36	3,2
SU Shamal	41,3	73,4	300	10,5	31	3,0
LG Optimist	49,0	75,3	363	11,7	34	2,9
LG Farrier	40,4	73,1	339	10,9	31	2,8
Mindful	43,3	73,3	287	10,9	31	2,8

2.2 En triticale d'hiver

Une variété ne peut être multipliée ou commercialisée en Belgique que si elle est inscrite au Catalogue National des variétés des espèces de plantes agricoles et de légumes ou si elle est inscrite au catalogue communautaire des variétés des espèces de plantes agricoles et de légumes.

Les catalogues communautaires (EU) des variétés des espèces de plantes agricoles et de légumes regroupent toutes les informations des catalogues nationaux de tous les Etats membres. Il s'agit d'une liste de variétés de plantes agricoles et de légumes qui peuvent être commercialisés ou multipliés dans le EU.

Les catalogues belges sont établis à partir de données gérées par les autorités régionales en vertu de protocoles interrégionaux. Le Comité GTIW (Groupe Technique Interrégional Werkgroep) constitué des Comités wallon et flamand, se réunit chaque année afin de statuer sur les résultats des variétés en cours d'inscription. Pour les céréales, les décisions du Comité GTIW s'appuient sur les rapports des Offices d'examen belges OBEV (ILVO plant – Gent et le département Productions Agricoles – CRAW Gembloux).

Après deux saisons d'évaluation une nouvelle variété de triticale a été inscrite en 2022 au Catalogue National belge. Cette nouvelle variété se nomme **Paddle**.

Les essais ont été réalisés dans six centres situés dans les régions agricoles suivantes : Sablonneuse (1), Limoneuse (1), Sablo-limoneuse (2) Gaume (1) et Ardenne (1). Les essais sont conduits sans régulateur de croissance et sans protection fongicide. La fumure est adaptée en fonction du précédent et des reliquats azotés.

2.3 Présentation des variétés

Le tableau 5 présente les obtenteurs et les mandataires des variétés témoins et de la variété inscrite en 2022 en triticale.

Tableau 5 – Mandataires et obtenteurs des variétés témoins et des variétés inscrites au Catalogue National belge en 2022 en triticale.

Nom	Code	Obtenteur	Mandataire*
Paddle	RW76025	Ets Lemaire Deffontaines	-
Borodine	témoin	Serasem SAS	Jorion Philip-Seeds
Elisir	témoin	Caussade Semences	Aveve Zaden
Jokari	témoin	Ets Lemaire Deffontaines	Lemaire Deffontaines S.A.
Bilboquet	témoin	Ets Lemaire Deffontaines	Aveve Zaden
Brehat	témoin	Florimond Desprez Veuve & Fils S.A.S.	Jorion Philip-Seeds

* Mandataires référencés au moment de l'inscription. Les mandats ont pu évoluer par la suite.

IV. Perspectives

2.4 Résultats

Le tableau 6 présente les rendements (en kg/ha et en % par rapport à la moyenne des témoins) obtenus durant les deux saisons d'évaluation.

Tableau 6 – Compilation des résultats des rendements des saisons 2020-2021 et 2021-2022.

Variétés	Rendements					
	2021 5 centr. *		2022 5 centr. **		Moyenne pondérée	
	Kg/ha	%	Kg/ha	%	Kg/ha	%
Borodine	7550	102	10518	90	9034	95
Elicsir	7532	101	11581	99	9556	100
Jokari	6267	84	11179	95	8723	91
Bilboquet	7841	105	12771	109	10306	108
Brehat	7516	101	12690	108	10103	106
Moyenne des témoins	7341	99	11748	100	9545	100
Paddle	7893	106	12412	106	10153	106

* un essai en région limoneuse a été déclassé par manque d'homogénéité

** un essai en région Ardenne a été déclassé par manque d'homogénéité

Le tableau 7 présente les résultats obtenus pour différents critères d'évaluation des variétés. Le tableau 8 présente la compilation des résultats des valeurs technologiques mesurées lors des deux saisons d'examen.

Tableau 7 – Compilation des résultats des saisons 2020-2021 et 2021-2022 (échelle (1-9) : 9 représente la cote la plus favorable).

Variétés	Froid	Verse	Oïdium	Rouille jaune	Rouille brune	Necrose foliaire	Rhyncho- sporiose	Hauteur	Précocité épiaison *
	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	[cm]	<> jours
Borodine	6,1	6,9	8,3	9,0	4,2	6,6	7,3	126	2
Elicsir	7,6	8,9	5,6	5,8	7,8	6,6	7,1	124	0
Jokari	7,6	7,0	5,1	9,0	6,5	6,0	8,5	122	-6
Bilboquet	7,1	6,4	7,5	8,3	7,4	6,7	6,5	136	0
Brehat	7,2	4,8	7,3	7,6	7,3	6,4	6,5	131	-4
Moyenne des témoins	7,1	6,8	6,8	7,9	6,6	6,5	7,2	128	-2
Paddle	7,8	5,1	8,0	7,5	8,3	7,3	6,0	132	-2

*Le témoin précocité : Elicsir

Tableau 8 – Compilation des valeurs technologiques des saisons 2020-2021 et 2021-2022.

Variétés	Poid de mille grains	Poids de l'hectolitre	Teneur en protéine
	g	Kg	%
Borodine	50,7	66,9	11,9
Elicsir	50,5	70,6	12,1
Jokari	41,6	67,8	12,2
Bilboquet	49,6	68,3	11,8
Brehat	54,8	67,7	11,6
Moyenne des témoins	49,4	68,2	11,9
Paddle	46,7	70,6	12,1

3. Nouvelles cultures ?

3.1 Lin oléagineux d'hiver

A. Hubaux¹, A. Nysten² et B. Dumont³

3.1.1 Introduction

Connaissez-vous le lin oléagineux (*Linum usitatissimum* L.) ?

Encore très peu cultivée en Belgique, à hauteur de 60 à 120 ha par an, cette culture est pourtant susceptible d'alimenter de nombreux débouchés (alimentation animale et humaine, industrie, ...). C'est d'ailleurs de là que vient son nom : *Linum usitatissimum* signifie « lin de tous les usages ».

Ses graines, riches en huile, sont composées en grande partie d'Oméga 3. Cela différencie le lin oléagineux des autres oléagineux. Ce sont donc ses graines qui sont principalement valorisées et non sa paille comme cela est le cas pour le lin fibre largement cultivé en Belgique.

En France, la culture du lin oléagineux a connu une forte croissance suite à la création du label « Bleu Blanc Cœur ». Celui-ci vise, entre autres, à augmenter la teneur en Oméga 3 des produits animaux en intégrant dans la ration des animaux du lin oléagineux extrudé au sein de l'usine Valorex. En 2021, l'Alliance Linoléa⁴ annonçait comme objectif, 50 000 ha de lin oléagineux (hiver et printemps) pour la récolte 2024 (le prix à la tonne en 2021 était de 500-560€).

En Belgique, des agriculteurs de la coopérative « En direct de mon élevage »⁵ cultivent du lin oléagineux depuis plusieurs années afin de l'intégrer dans la ration de leurs élevages et de produire de la viande de qualité.

Le manque d'attrait pour le lin oléagineux en Belgique vient notamment du fait que la filière ne soit pas fort développée dans le pays mais il est également dû à un manque de références techniques sur le sujet. C'est pourquoi des essais ont été menés durant la saison 2021-2022 sur un panel de dix variétés, sur la fertilisation et sur différentes techniques de désherbages⁶ afin d'investiguer au mieux certains paramètres techniques.

¹ ULiège – Gx-ABT – Master Bioingénieur en Sciences Agronomique – Mémoire Année 2021-2022

² CePiCOP asbl – Centre Pilote wallon des Céréales et Oléo-Protéagineux – Subventionné par SPW- DGARNE

³ ULiège – Gx-ABT - Dpt. Terra & Agronomy, Bio-Engineering and Chemistry

⁴ Il s'agit d'une organisation transverse qui regroupe le Gie Linea (sélection variétale), la coopérative Lin 2000 (multiplication des semences et soutien technique) et Semences de France (organisation de la production et débouchés).

⁵ La coopérative « En direct de mon élevage » <http://www.endirectdemonlevage.be/accueil.html>

⁶ Pour plus de détails sur l'ensemble des résultats, vous pouvez télécharger le mémoire de fin d'études d'Alix Hubaux via le lien suivant : <http://hdl.handle.net/2268.2/15330>

3.1.2 Spécificités du lin oléagineux d'hiver

- **La sélection**

La sélection variétale a dissocié le lin oléagineux et le lin fibre lors du développement de leurs usages industriels. C'est en France qu'ont été sélectionnées les premières variétés de lin oléagineux de printemps. Par la suite, la sélection s'est penchée sur les variétés d'hiver en utilisant du matériel génétique provenant de Bulgarie, Turquie, Yougoslavie et d'Hongrie. Ces croisements ont permis d'augmenter la résistance au froid, la taille des graines et la résistance à la verse. La première variété de lin oléagineux d'hiver était prénommée Oliver (1995).

Les critères de sélection sont : la précocité, le rendement, la teneur en acides gras linoléique, la résistance à la verse et aux maladies.

Des variétés de type « Linola » à graine jaune ont été sélectionnées au Canada. Leur huile est moins sensible à l'oxydation. Elles possèdent toutefois une teneur en Oméga 3 inférieure.

- **Le cycle du lin oléagineux d'hiver**

Le lin oléagineux d'hiver est semé aux environs du mois de septembre-octobre (Figure 1) pour obtenir une hauteur de plante comprise entre 5 et 10 cm pour passer l'hiver. La température de base de croissance du lin oléagineux d'hiver est située entre 2 et 3°C. La plante se ramifie lors de la phase d'installation et croît. Elle fleurit ensuite pendant un peu plus de deux semaines mais la durée de vie de chaque fleur est d'une seule journée. La fécondation est majoritairement autogame et dépend donc peu des pollinisateurs. Les fruits, appelés capsules, se développent jusqu'à maturité. Au moment de la récolte, les graines tintent (comme une clochette) dans leurs capsules.



Figure 1 – Cycle du lin oléagineux d'hiver – Alix Hubaux.

- **La fertilisation**

Bien que l'azote représente toujours un élément limitant pour la culture, le lin oléagineux ne nécessite que peu d'engrais azotés. L'apport conseillé en France est de 4,5kg d'azote par

quintal de grain produit sachant que la production du lin oléagineux d'hiver varie de 15 à 35 quintaux /ha avec une moyenne à 2,5t.

Un deuxième élément à surveiller est le zinc. Un manque en zinc peut ralentir voire stopper le développement de la culture. Un enrobage de zinc pour les semences est conseillé. Cependant, le lin oléagineux d'hiver est moins sensible à une carence en zinc que celui de printemps.

• Bioagresseurs

Les principales maladies auxquelles le lin oléagineux est confronté sont : la septoriose (*Septoria linicola*), l'oïdium (*Oïdium lini*) et la fusariose (*Fusarium oxysporum* f. sp. lini).

Les principaux ravageurs du lin oléagineux sont : les altises (de la levée au stade 5-7cm) et les thrips (de la reprise de végétation à la fin floraison).

• Les composantes du rendement

Le rendement du lin oléagineux dépend :

- Du nombre de branches fertiles par plantes
- Du nombre de capsules par plante
- Du nombre de graines par capsule (en général 10)
- Le poids des graines (le PMG peut varier de 5,4 à 14g)
- La concentration en huile des graines

3.1.3 Quelques chiffres

La production mondiale de lin oléagineux en 2020 s'élevait à plus de 3 790 000 ha selon la FAO avec une augmentation de plus de 1 400 000 ha entre 2010 et 2020. Les principaux pays producteurs étaient en 2020 : Le Kazakhstan, la Fédération de Russie et le Canada.

En Europe un peu plus de 115 000 ha sont cultivés. Les deux premiers pays producteurs sont : Le Royaume-Uni accompagné de l'Irlande du Nord suivis de la France. L'Europe importe ses graines de lin du Canada, des Etats-Unis et de la Russie.

3.1.4 Les avantages de la culture du lin oléagineux d'hiver

La culture de lin oléagineux d'hiver présente de nombreux avantages :

- Il produit, en général, un plus haut rendement que celui de printemps.
- Il est moins exposé aux stress hydriques imposés à la culture durant la floraison et la phase de remplissage du grain que les variétés de printemps.
- Il peut être cultivé dans des environnements moins favorables comme des sols superficiels ou lors d'étés plus échaudants. Cependant, il n'y exprimera pas son meilleur potentiel.
- Il permet de couvrir le sol en hiver.
- Le lin oléagineux constitue une source de diversification dans les assolements et s'insère facilement dans le calendrier cultural.

IV. Perspectives

- Cette culture ne demande pas d'investissement supplémentaire concernant le matériel de semis, de fertilisation, de désherbage, de récolte (moissonneuse à céréales avec quelques ajustements techniques comme une nouvelle lame) par rapport aux céréales d'hiver.
- Elle demande peu d'intrants notamment en engrais azotés. Ses impacts sur l'environnement sont donc réduits.
- Le lin permet également de diminuer la quantité d'intrants nécessaire pour une culture de froment suivant celle-ci mais également d'autres cultures.
- Il est un bon précédent pour le froment. Il permet d'augmenter le rendement de la culture de froment qui la suivra comme cité dans de nombreux articles par rapport à un précédent froment, orge ou colza.
- Le lin oléagineux d'hiver est moins exposé aux altises que celui de printemps.

3.1.5 Présentation des résultats de l'essai variétal

En 2021, un essai variétal a été semé début octobre à Lonzée (Gembloux) afin d'évaluer un panel de dix variétés principalement françaises (Tableau 1) dont certaines étaient déjà présentes dans les essais des années précédentes.

Tableau 1 – Présentation des dix variétés testées dans l'essai 2021-2022 à Lonzée (Gembloux).

Légende : x = présence.

Variété	Obtenteur	Représentant(s)	Année d'inscription	Couleur des graines	Année de présence dans les essais		
					2019-2020	2020-2021	2021-2022
Angora	GIE Linéa Semences de lin	SCA LIN-2000 Semences de France	2013	Brune	x	x	x
Attila	GIE Linéa Semences de lin	SCA LIN-2000 Semences de France	2020	Brune		x	x
Merinos	GIE Linéa Semences de lin	Linéa Semences de France	2021	Brune			x
Cledor	GIE Linéa Semences de lin	SCA LIN-2000 Semences de France	2017	Jaune			x
Montdor	GIE Linéa Semences de lin	Linéa Semences de France	2022	Jaune			x
GOH22	GIE Linéa Semences de lin			Brune			x
LS Apalache		Laboulet Semences	2019	Brune		x	x
Sideral		Laboulet Semences	2009	Brune		x	x
LSL1133		Laboulet Semences		Brune			x
Orival		Laboulet Semences	2017	Jaune			x

La densité de semis était de 350 grains/m². A l'émergence de la culture, un manque de levée a été observé pour la variété Orival.

La bonne implantation des variétés a permis de faire face à la sécheresse du printemps. La fertilisation azotée (80uN) a été appliquée en une fraction le 17 mars 2022. La récolte a été réalisée le 24 juillet 2022 dans des conditions peut-être trop chaudes pour optimiser la qualité de l'huile des graines.

Lors du développement de la culture, des variétés se sont montrées plus précoces à la floraison

à savoir LS Apalache et Sideral. La variété la plus tardive était Orival dû à sa faible densité de levée suivie de GOH22. À maturité, c'est la variété Montdor qui a été la plus précoce et Orival la plus tardive dû une nouvelle fois à sa faible densité de levée.

La variété GOH22 s'est très bien développée durant la saison. Elle a couvert de manière plus importante le sol que les autres variétés. Cette couverture du sol plus importante peut permettre de limiter le développement des adventices.

Le Tableau 2 présente les résultats de rendement des variétés des dernières années d'essai.

Tableau 2 – Résultats de rendements des variétés de lin oléagineux d'hiver 2020-2022.

Variété	Rendement à 9% d'humidité (t/ha) ± std			
	2020	2021	2022	Moyenne 2021-2022
Angora	3,26 ± 0,25	2,27 ± 0,36	3,43 ± 0,40	2,79 ± 0,72
Attila		2,25 ± 0,33	4,09 ± 0,21	3,03 ± 0,98
Merinos			3,46 ± 0,10	
Cledor			3,95 ± 0,18	
Montdor		1,67 ± 0,16	3,95 ± 0,11	2,72 ± 1,19
GOH22			4,05 ± 0,10	
LS Apalache			3,60 ± 0,19	
Sideral			3,54 ± 0,10	
LSL1133			1,29 ± 0,22	
Orival		2,22 ± 0,29	3,85 ± 0,19	2,84 ± 0,85

Les années de récolte 2020 et 2022 ont été plus sèches et de ce fait montre de meilleurs rendements (>3t/ha). L'été 2021 a été très humide par rapport aux deux autres années et aux normales saisonnières et a fortement impacté le rendement. Cependant, la majorité des rendements se situent aux alentours de 2,2t/ha et le rendement moyen en lin oléagineux d'hiver énoncé par Arvalis est de 2,5t/ha.

En prenant en compte la récolte de 2021 et 2022, il est possible de remarquer que le rendement de LS Apalache est plus affecté que celui des trois autres variétés lors d'année avec un été plus humide et plus chaud. Cette variété est peut-être plus sensible à la verse provoquée en 2021 par les intempéries. Angora a un potentiel de rendement inférieur aux autres variétés lors de saison avec un été plus sec. Les deux autres variétés, Attila et Sideral, semblent moins dépendantes des conditions climatiques. Il faut toutefois rester prudent car l'expérimentation ne porte que sur deux années et la recherche continue pour répondre aux questions du climat et sol wallon (date de semis, densité, ...).

Concernant les rendements de la récolte de 2022, les variétés avec le plus haut rendement sont Attila et LSL1133 avec plus de 4 t/ha. GOH22 et LS Apalache sont non significativement différentes de ces deux dernières et admettent donc de bons résultats.

3.1.6 Conclusion de l'essai et avenir de la culture

L'essai variétal a permis de mettre en avant les variétés qui, cette année, étaient adaptées à la Belgique. L'ensemble de celles-ci, à l'exception d'Orival (dû à sa faible densité en sortie d'hiver), semble l'être.

Les variétés encore sous code, à savoir GOH22 et LSL1133, montrent de très bonnes aptitudes et démontrent que l'amélioration des variétés, résultant de la sélection, permettra d'obtenir des variétés adaptées. GOH22 se démarque particulièrement des autres variétés par son pouvoir couvrant et sa densité en sortie d'hiver. Cette caractéristique pourra être reprise pour la sélection de nouvelles variétés. Cependant, elle est plus tardive que les autres variétés, ce qui pourrait l'exposer aux stress hydriques et aux fortes chaleurs au moment de sa floraison, ce qui n'a toutefois pas impacté son rendement en 2022. Les plus anciennes variétés montrent également de bonnes caractéristiques notamment Attila qui a présenté une densité élevée en sortie d'hiver et a produit le meilleur rendement. Les autres variétés sont aussi intéressantes pour certains paramètres, le résumé de celles-ci est repris en annexe 17 du TFE réalisé par Alix Hubaux⁷.

Le choix entre l'une ou l'autre variété dépendra des attentes de l'agriculteur (couleur de graine, rendement, ...) et de la filière dans laquelle il souhaite s'inscrire.

Cette culture a de l'avenir dans nos campagnes de par ses atouts agronomiques technologiques mais également par l'autonomie alimentaire qu'elle confèrerait à notre région.

⁷ Pour plus de détails sur l'ensemble des résultats, vous pouvez télécharger le mémoire de fin d'études d'Alix Hubaux via le lien suivant : <http://hdl.handle.net/2268.2/15330>

3.2 La culture du tournesol en Wallonie : le projet SunWall

C. Crevits⁸, R. Meza¹ et D. Eylenbosch¹

3.2.1 Mise en contexte

- **L'évolution climatique et variétale**

Vous l'aurez probablement remarqué, depuis quelques années les paysages wallons se diversifient et se colorent, avec l'introduction de nouvelles cultures et notamment de la culture du tournesol, qui remonte progressivement depuis le sud de la France jusqu'à nos régions.

C'est un fait, les changements climatiques observés ces dernières années imposent la diversification des systèmes agricoles et permettent d'y voir s'intégrer de nouvelles cultures. C'est le cas du tournesol, une plante qui, pour atteindre sa maturité et être récoltée, nécessite d'accumuler un certain nombre de degrés-jours. Les variétés précoces, actuellement cultivées dans nos régions, requièrent 1500 degrés-jours en base 6°C pour atteindre leur maturité. Alors qu'au début des années 2000 cette exigence n'était qu'exceptionnellement atteinte, la fréquence d'apparition de ces conditions favorables semble s'accroître ces dernières années comme l'illustre la Figure 2.

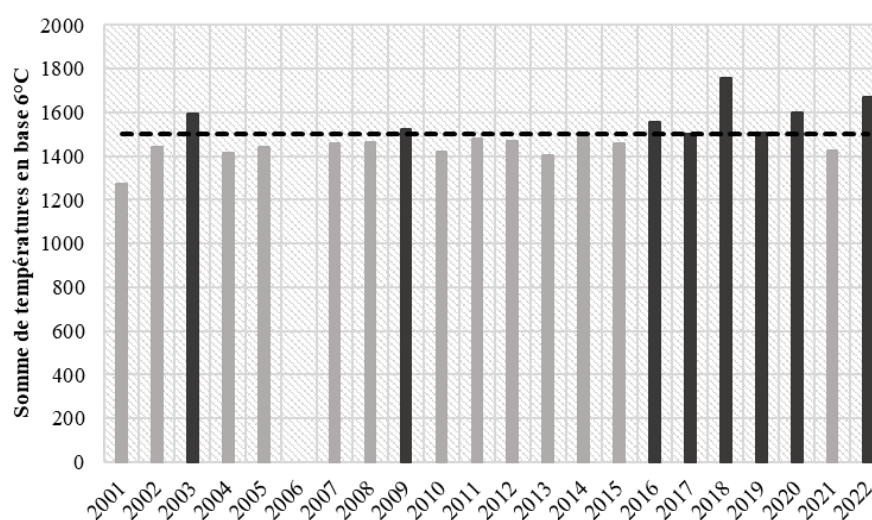


Figure 2 – Evolution des sommes de températures en base 6°C accumulées du 20 avril au 20 septembre (période correspondant au cycle de croissance du tournesol) de 2001 à 2022.

En parallèle, la sélection variétale évolue également, proposant des variétés de plus en plus précoces, qui nécessitent d'accumuler toujours moins de degrés-jours pour atteindre leur maturité, ce qui permet d'élargir progressivement la zone de culture du tournesol. On parle aujourd'hui de variétés très précoces.

⁸ CRA-W – Département Productions agricoles – Unité Productions végétales

- **Les atouts de la culture**

La culture du tournesol possède de nombreux atouts, notamment liés à sa rusticité. Le tournesol a en effet un faible besoin en intrants et une bonne tolérance aux stress hydriques. Celle-ci est liée à sa morphologie et à son système racinaire qui contribue également au maintien d'une bonne structure du sol. Ses qualités lui permettent une implantation dans des conditions diverses y compris en agriculture biologique. Le tournesol présente aussi des intérêts écologiques dont peuvent notamment profiter les apiculteurs. Enfin, il contribue incontestablement à la beauté de nos paysages et participe à la valorisation du métier d'agriculteur auprès du grand public, un atout indéniable de nos jours.

3.2.2 Le projet SunWall

Depuis maintenant 3 ans, des essais en culture de tournesol sont mis en place par l'Unité Productions végétales du Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W). Suite aux résultats probants d'un essai exploratoire implanté en 2020, le projet « SunWall » a été déposé dans le cadre de l'appel à projets « Soutenir la relocalisation de l'alimentation en Wallonie » lancé par le gouvernement wallon. Ce projet a débuté en 2021 pour une durée de 3 ans, et a pour but de développer une filière complète de production d'huile de tournesol en Wallonie depuis l'implantation de la culture, jusqu'à la commercialisation de l'huile et de son coproduit, le tourteau. Il s'agit d'un partenariat entre le CRA-W, la SCAM et Alvenat, une PME de la région de Ciney, spécialisée dans la production d'huile de colza et souhaitant se diversifier dans la production d'huile de tournesol.

Chaque partenaire a son rôle à jouer dans la filière. Au niveau du CRA-W, des essais variétaux et phytotechniques sont implantés afin d'identifier les variétés les plus adaptées à nos conditions pédoclimatiques et d'établir les itinéraires phytotechniques les plus propices à cette culture en Wallonie. La SCAM organise la réception du tournesol et son traitement (séchage et triage) tandis qu'Alvenat s'occupe de la production de l'huile et de la valorisation de son coproduit, le tourteau, à destination du marché local. Le CRA-W réalise également des analyses sur l'huile et les tourteaux afin de caractériser leur composition.

3.2.3 Des résultats encourageants

- **La conduite phytotechnique de la culture**

Ces deux premières années d'essai dans le cadre du projet SunWall nous ont déjà permis de tirer des enseignements sur la conduite de la culture en Wallonie. La culture du tournesol est une culture de printemps qui se cultive en tête de rotation. Elle doit être implantée le plus tôt possible au mois d'avril, dans un sol suffisamment réchauffé, afin de permettre sa récolte avant les conditions automnales du mois d'octobre.

En 2021, 4 dates de semis, échelonnées de 10 en 10 jours (du 9 avril au 11 mai) ont été évaluées. Ce sont les dates de semis les plus précoces qui ont permis d'atteindre la maturité le plus rapidement. Les tournesols implantés aux dates de semis les plus tardives n'ont jamais rattrapé les premières en termes de maturité. Idéalement, le semis doit donc être réalisé après les semis de betteraves et avant ceux du maïs. En 2022, les essais ont tous été implantés entre le 10 et le 20 avril, ce qui a permis une récolte dans de bonnes conditions entre le 1^{er} et le 13 septembre.

En outre, c'est au moment du semis que la culture est la plus sujette aux dégâts de ravageurs, principalement des oiseaux, très friands de la semence et du tournesol au stade cotylédonaire. Un semis profond, à environ 5 cm de profondeur, afin de limiter les attaques des oiseaux au semis est donc préférable. Le tournesol est généralement semé à un écartement de 45 cm, bien que celui-ci puisse varier (45 à 75 cm) en fonction du matériel disponible sur la ferme.

La densité de semis pratiquée en Belgique tourne autour de 8 à 10 plantes/m². C'est plus dense qu'en France (5 à 7 plantes/m²) mais cela s'explique par la qualité de nos sols qui permet de supporter un peuplement plus important. Des semis à des densités supérieures à 10 plantes/m² ont montré une sensibilité accrue aux maladies, notamment au sclérotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*), maladie la plus fréquente en tournesol, et une sensibilité à la verse plus élevée en raison de l'accroissement de la hauteur du tournesol favorisé par ces densités élevées. L'impact de la densité sur le rendement n'a pas pu être évalué en 2021 en raison des conditions humides de récolte qui n'ont permis qu'une récolte partielle des essais. Cet effet s'est avéré non significatif en 2022.

En termes de protection de la culture, il n'y a actuellement qu'un seul produit de protection des plantes qui est agréé en Belgique pour le tournesol ; le Brixton (180g/L cléthodime), qui permet de lutter contre les graminées annuelles en postémurgence.

• Des variétés adaptées à nos conditions

Dans le cadre du projet, une quinzaine de variétés oléiques et linoléiques présélectionnées parmi les variétés les plus précoces commercialisées dans les pays voisins sont évaluées dans des conditions pédoclimatiques variées. Il s'agit essentiellement de variétés de type oléique, variétés dont l'huile présente une aptitude à la cuisson grâce à son rapport élevé en acides gras oléiques/ acides gras linoléiques, et qui sont donc plus recherchées par les industriels. En 2021, les essais ont été implantés à Gembloux, Hannut et Libramont. En 2022, d'autres conditions ont été explorées. En plus des essais installés à Gembloux, des essais ont été implantés dans les sols asséchants et caillouteux de la Famenne et de la Gaume.

Ces variétés sont évaluées sur différents critères d'intérêt pour l'avenir de la culture en Wallonie. La rapidité à la levée est évaluée afin de limiter la période de sensibilité du tournesol aux dégâts de ravageurs. Nous avons également pu comparer la tolérance des variétés aux dégâts de pucerons, présents en nombre cette année, et qui peuvent impacter très fortement la culture. De fait, la salive du puceron injectée lors de sa piqure génère une crispation du feuillage, réduisant ainsi les possibilités de photosynthèse du tournesol et impactant alors son rendement. D'importantes différences variétales ont pu être relevées, certaines variétés ne montrant que très peu de symptômes, d'autres étant complètement crispées.

Les variétés sont également évaluées sur leur tolérance à la verse et aux maladies, ainsi que sur leur précocité à la floraison et, indirectement, à la maturité, critère important pour assurer une récolte le plus tôt possible dans la saison.

Au vu de l'humidité exceptionnelle de la saison 2021, la récolte des essais n'a pu se faire que manuellement et partiellement, l'information sur les rendements n'est donc pas disponible pour cette année. En 2022, le grain était sec (9% d'humidité recherché pour le tournesol) et les rendements moyens très bons, la moyenne de tous les essais était de **3.6 T/ha**. Le rendement moyen était de **4.6 T/ha** sur le site de Gembloux, **3.2 T/ha** en Famenne et **3.0 T/ha** en Gaume, régions où le tournesol a pu souffrir davantage de la sécheresse.

3.2.4 Les perspectives d'avenir pour la culture

La culture de tournesol n'en est qu'à ses débuts en Wallonie mais les deux premières années d'essais dans le cadre du projet SunWall ont déjà été très riches en enseignements.

Les conditions météorologiques de l'année 2022, avec un été sec et lumineux, ont permis au tournesol d'atteindre rapidement sa maturité. La totalité des essais a été récoltée entre le 1^{er} et le 13 septembre, le grain récolté était sec, et de ce fait, l'huile produite d'une qualité excellente. A contrario, l'année 2021 et son caractère exceptionnel dont on se souvient tous, n'a pas été favorable à la culture du tournesol chez nous. Le grain récolté était sale et humide à cause de la pluviosité intense observée durant la période de récolte du tournesol, celle-ci n'ayant généralement pu débiter qu'au mois d'octobre. Ce grain de mauvaise qualité a induit la production d'une huile instable à la conservation et a généré des pertes.

Or, ce sont des années comme l'année 2022 que nous allons être amenés à connaître dans le futur et la Figure 1 présentée ci-dessus illustre bien que l'année 2021 faisait office d'exception sur la période 2016-2022. Les conditions climatiques semblent donc de plus en plus propices au développement de la culture de tournesol chez nous. Les progrès de la sélection variétale évoluent dans ce sens également.

Il s'agit d'une culture aux multiples atouts, contribuant entre autres à la diversification des rotations agricoles, ainsi qu'au développement des circuits-courts et des filières locales. De plus, le coproduit de l'huile produite, le tourteau, peut également répondre au besoin d'autonomie des élevages.

Néanmoins, pour que cette culture puisse s'intégrer de manière pérenne en Belgique, certains freins doivent encore être levés. Actuellement, la quasi absence de produits de protection des plantes agréés pour le tournesol génère des limites agronomiques qui entraînent une certaine réticence chez les agriculteurs face à l'intégration de cette culture dans leur rotation. En effet, en termes de désherbage, les possibilités de lutte chimique contre les adventices sont limitées à un antigraminées et la période d'intervention par binage est assez limitée au vu de la taille qu'atteint rapidement le tournesol. Néanmoins, si ce désherbage mécanique est réalisé dans de bonnes conditions, il peut se montrer efficace.

En 2022, nous avons observé d'impressionnantes attaques de pucerons sur le tournesol. Bien que de telles attaques semblent exceptionnelles, l'absence d'insecticide agréé rend la culture très vulnérable à ces insectes. D'importantes pertes de rendements ont été enregistrées en 2022 sur les variétés les plus sensibles à ces dégâts.

Des demandes d'extensions d'homologation aussi bien pour des herbicides que pour des insecticides ont été introduites et il faut espérer qu'elles aboutiront pour la saison 2023.

Au niveau des débouchés, la volatilité des prix et l'instabilité due au contexte géopolitique actuel rend la situation compliquée et fait planer une grande incertitude quant au prix de vente du grain de tournesol et donc aussi sur la rentabilité de cette culture et celle de la filière. Il est donc important d'assurer le débouché de la culture avant son implantation.

Avec ses atouts et malgré les freins qui peuvent encore limiter son extension, cette culture fera peut-être partie intégrante de nos paysages wallons d'ici quelques années et contribuera sans conteste à leur beauté et leur diversité.

4. Le désherbage mécanique est-il une option en culture de céréales conventionnelle ?

C. Lacroix¹, C. Vandenberghe², J. Pierreux¹, D. Jaunard et B. Dumont¹

4.1 Mise en contexte

Depuis la seconde guerre mondiale, le désherbage des céréales a été révolutionné par la mise au point des herbicides. Ceux-ci ont permis d'améliorer significativement l'efficacité du désherbage, réduire le temps de travail et diminuer la pénibilité d'un désherbage manuel. Cependant, l'utilisation répétée du désherbage chimique a entraîné l'apparition d'adventices résistantes à certaines substances actives pouvant causer des problèmes de gestion par la suite. De plus, un certain nombre de produits utilisés dans le passé ont été retirés du marché dû aux conséquences néfastes sur l'environnement (pollution des sols, pollution de l'eau, ...) et aux risques pour la santé humaine. Enfin, l'Union européenne a émis la volonté de rendre l'agriculture toujours « plus verte ». Cette volonté a été traduite légalement en 2009 par l'obligation de mettre en place de l'« *Integrated Pest Management* » (IPM) et a été réaffirmée récemment avec le *green deal* et le *farm to fork strategy*. L'un des objectifs est de réduire de 50% l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (PPP) d'ici 2030. C'est pourquoi, il nous est demandé de trouver des solutions pour palier à la diminution programmée d'utilisation de PPP, dont les herbicides. L'intégration d'outils de désherbage mécanique en plein telles que la herse étrille et la houe rotative dans les itinéraires techniques pourrait contribuer à respecter ces objectifs.

4.2 Projet Sol-Phy-Ly

Le projet Sol-Phy-Ly est financé par la Région wallonne (projet SPW ARNE D65-1415). Il a notamment comme objectif d'évaluer l'effet du désherbage mécanique, couplé ou non, au désherbage chimique en céréales (froment d'hiver). Depuis 2019, des essais reprenant plusieurs modalités de désherbage mécanique (herse étrille et houe rotative), couplées ou non, à un désherbage chimique (antidicotylée ou antigraminée) à 0, demi ou pleine dose sont implantés. La herse étrille a été testée seule avec 1, 2 ou 3 passages réalisés respectivement au tallage (sortie d'hiver), redressement et premier nœud. Elle a aussi été testée en combinaison avec la houe rotative : un passage de houe suivi le lendemain d'un passage de herse réalisé au tallage couplé ou non à un deuxième passage de herse au redressement. Finalement, la houe rotative a aussi été évaluée seule avec un unique passage au tallage. Le projet valorise aussi les observations réalisées entre 2010 et 2013 (projet D31-1230 financé par la Région wallonne), qui se concentraient sur l'utilisation de la herse en 1, 2 ou 3 passages.

¹ ULiège – Gx-ABT – Axe Plant sciences-Phytotechnie

² ULiège –Gx-ABT– Axe Echanges Eau-Sol-Plantes-GRENeRA

Fort de huit années de données, nous avons obtenu un panel de conditions climatiques et de niveaux d'infestations initiales d'adventices nous permettant de proposer des perspectives d'introduction des outils de désherbage mécanique en agriculture conventionnelle.

4.2.1 Quelles adventices sont nuisibles au rendement ?

Notre étude révèle que les adventices qu'il faut gérer sont celles qui sont présentes avant le premier désherbage réalisé à la reprise de la végétation.

Lors de nos essais, il a été observé que les nouvelles levées d'adventices de type dicotylées engendrées par les passages d'outils de désherbage mécanique n'avaient aucun impact sur le rendement. En effet, ces adventices ne savent pas pleinement se développer à cause de la forte compétition (notamment pour la lumière) engendrée par la culture de froment déjà en place.

Par contre, les adventices présentes avant la première opération de désherbage sont synchrones avec la culture et présentent une meilleure implantation. Elles sont directement en compétition avec la culture. Celles qui échappent aux opérations de désherbage réalisées présentent une corrélation négative avec le rendement et se traduisent donc par une perte de rendement. Celle-ci est d'autant plus forte qu'il s'agit d'adventices de type graminées (vulpin, jouet du vent, ...). En effet, étant phylogénétiquement proches du froment, ces adventices ont des traits fonctionnels semblables, ce qui engendre une compétition plus forte pour les ressources.

4.2.2 Efficacité variable du désherbage mécanique selon l'année, la flore initiale et le niveau d'infestation

Afin de mener un bon désherbage mécanique, celui-ci doit être réalisé dans des conditions de sol réessuyé avec au moins 48h sans pluie après le passage afin d'éviter/limiter toutes reprises des adventices déchaussées. De plus, la herse étrille a une forte efficacité sur les adventices aux stades fil blanc et cotylédon. Une fois le stade 2-3 feuilles passé, l'efficacité de la herse étrille chute grandement.

Malheureusement, le froment d'hiver se semant à l'automne, il est rare d'avoir des conditions optimales pour réaliser un désherbage en prélevée ou au stade 3 feuilles de la culture et ainsi agir sur des adventices de petite taille.

Le désherbage se réalisera donc majoritairement en sortie d'hiver dès qu'une plage météorologique est disponible et que le sol est assez réessuyé. Cette période de l'année signifie qu'il faut réaliser un désherbage sur des adventices plus développées et donc plus difficiles à déchausser.

En utilisant la herse en sortie d'hiver, il n'est pas rare de se retrouver avec un sol glacé. Dans de telles conditions, un chemin préférentiel lié au passage des premières dents de la herse peut se former. En effet, les premières dents peuvent former un sillon que les dents suivantes vont emprunter. Cela a comme conséquence un travail du sol non homogène et une chute de l'efficacité de la herse étrille (figure 1).



Figure 1 – Photo représentant le passage préférentiel provoqué par l'action des dents de la herse étrille sur un sol avec croute de battance à la sortie d'hiver.

Si une croute de battance était présente, un passage de houe rotative avant le passage de la herse a montré de bons résultats. En effet, la houe rotative décroute le sol, permettant un travail plus homogène de la herse. Attention tout de même qu'en cas de décroutage trop grossier, les mottes soulevées par la houe peuvent être déplacées par la herse et déposées sur le froment, engendrant une mortalité de plants de froment et donc une perte de sélectivité.

Un passage unique de houe rotative n'a quant à lui généralement pas permis une diminution significative du nombre d'adventices.

Sur une flore composée uniquement de dicotylées, le désherbage mixte (chimique plus mécanique) n'a pas montré de plus-value par rapport à un désherbage chimique seul. Il semble donc plus intéressant de réaliser soit un désherbage chimique, soit un désherbage mécanique.

Par contre, avec une flore mixte, il pourrait être intéressant d'utiliser un antigraminée pour gérer les graminées et de réaliser un passage de herse étrille pour gérer les dicotylées (si toutefois l'infestation reste modérée).

Au niveau du rendement, une différence significative entre le désherbage chimique et mécanique n'est observée qu'en présence de graminées ou de très fortes infestations de dicotylées. Dans les autres situations, le désherbage mécanique n'a pas montré d'effet négatif et a même, en cas d'année très sèche, engendré un rendement supérieur au désherbage chimique.

4.2.3 Gestion adaptée selon la flore

Afin de pouvoir réaliser un désherbage adéquat tout en limitant l'utilisation d'herbicides, il est important d'avoir connaissance de la flore adventice présente sur le champ. Ainsi, différents itinéraires sont proposés en fonction de la flore et du niveau d'infestation (Figure 2).

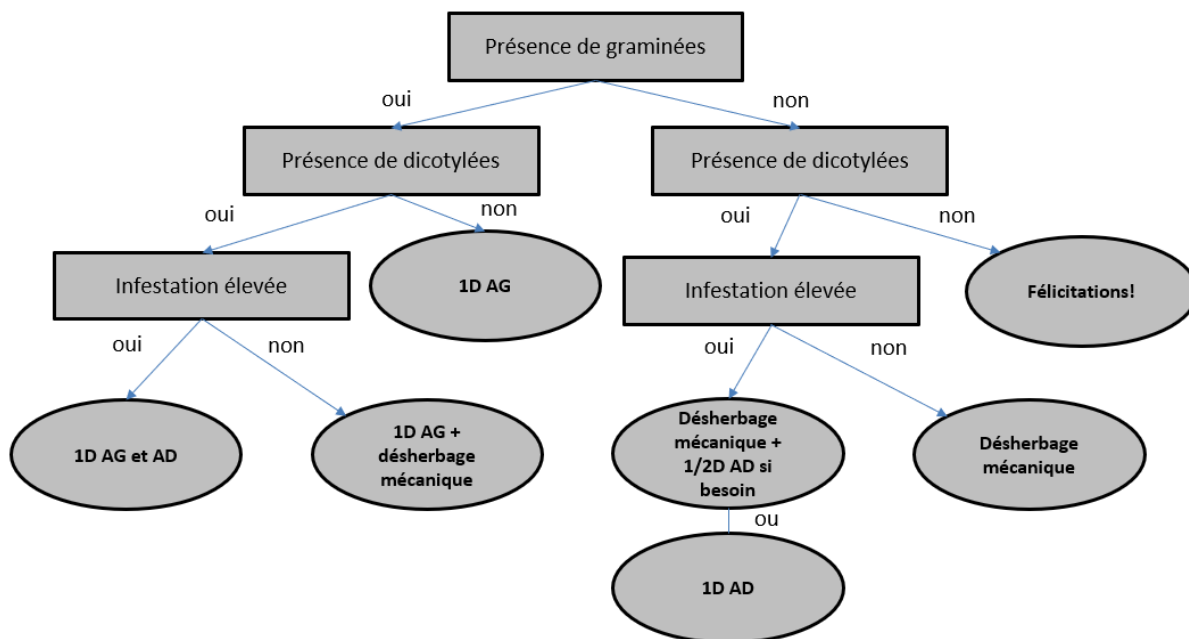


Figure 2 – Schéma décisionnel du désherbage en froment d’hiver.
 D= dose, AG=antigraminée, AD=antidicotylée.

En cas d’infestation de graminées, le désherbage mécanique en plein a montré une absence d’efficacité. Dans de telles conditions, un désherbage chimique antigraminée est recommandé.

En cas de fortes infestations de dicotylées (terre historiquement sale.), il est déconseillé de réaliser un désherbage à la herse. En effet, l’efficacité reste moins élevée qu’un désherbage chimique et la proportion d’adventices restantes reste trop importante, concurrençant la culture et contribuant au renouvellement du stock semencier (capacité de grainer).

Par contre en cas de faible infestation (<environ 30 adventices/m²), il est tout à fait envisageable de se passer du désherbage chimique et de réaliser un désherbage mécanique avec 1 à 2 passages de herse (si nécessaire).

En cas de flore mixte avec une pression modérée en dicotylées, il pourrait être envisageable de réaliser un désherbage mixte avec une dose pleine d’antigraminées couplée à un désherbage mécanique pour gérer les dicotylées.

Par ailleurs, lors de la présence d’une croute de battance, un itinéraire utilisant la combinaison d’une houe rotative et d’une herse étrille est proposée. La herse seule semble suffire dans les autres situations (Figure 3).

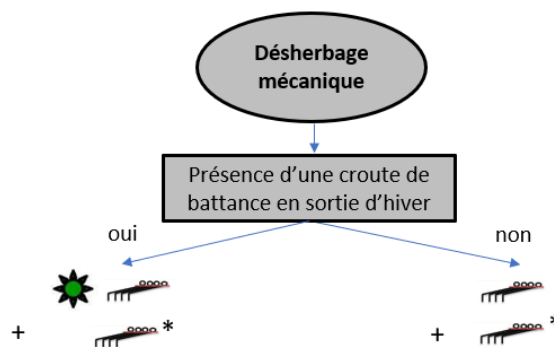


Figure 3 – Schéma décisionnel du désherbage mécanique en froment d'hiver. *2^{ème} passage facultatif si bonne efficacité du premier passage.

4.3 Perspectives

Afin d'arriver à l'objectif de réduction des PPP émis par l'Union européenne, il est important d'arriver à déterminer de nouveaux itinéraires techniques. Notre étude a permis d'identifier un ensemble de situations où l'utilisation de la herse étrille est intéressante, voire suffisante. Il convient de préciser que celle-ci garde une efficacité plus faible qu'un désherbage chimique, et ce principalement dû au stade déjà fort avancé du développement de l'adventice ; son utilisation (timing et nombre de passages) doit donc être bien réfléchi.

Il est également important de rappeler de coupler plusieurs leviers préventifs afin de pouvoir gérer au mieux sa flore, afin de limiter le recours aux herbicides. Des leviers tels qu'une rotation de culture (alternant culture de printemps et d'hiver), le faux semis et le décalage de la date de semis du froment sont, entre autres, à favoriser.

5. L'effet des traitements de semence sur la mycorhization du froment d'hiver

B. Hardy¹, E. Belvaux², M. Calonne-Salmon², B. Huyghebaert¹ et S. Declerck²

5.1 Contexte et objectif

La plupart des plantes cultivées de nos régions entrent en symbiose avec des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) au cours de leur cycle végétatif. Les CMA sont des symbiotes obligatoires qui pénètrent dans le système racinaire des plantes hôtes pour y recevoir du carbone en échange de nutriments. Il est largement reconnu que la symbiose peut apporter des bénéfices à la plante hôte en termes de nutrition hydrique et minérale (phosphore, azote, micronutriments) et de résistance aux maladies cryptogamiques (Figure 1).

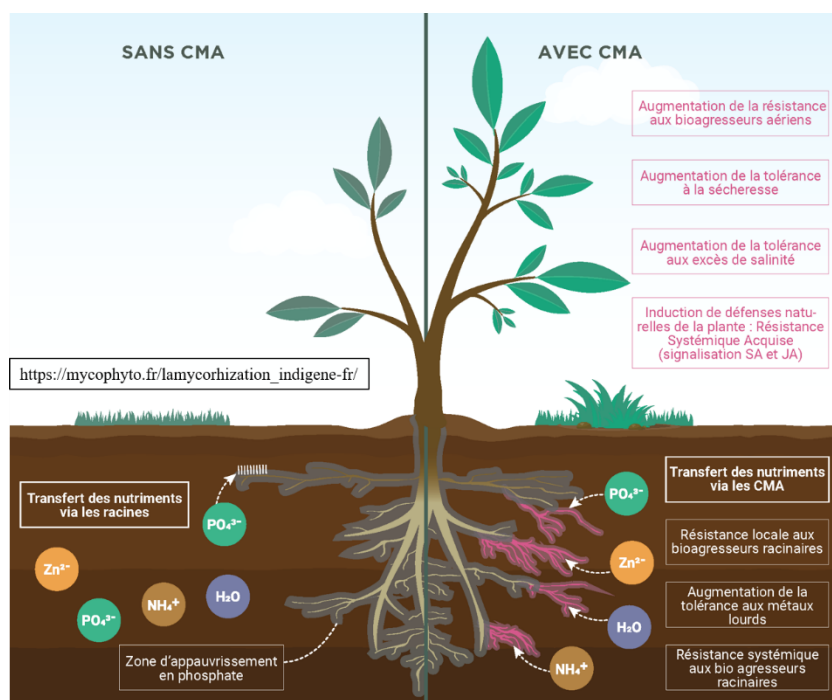


Figure 1 – Représentation schématique des principaux services prodigués à la plante par les champignons mycorhiziens à arbuscules (Source : https://mycophyto.fr/lamycorhization_indigene-fr/³).

Néanmoins, les semences de céréales sont systématiquement traitées par un ou plusieurs fongicides afin de prémunir la culture des maladies de la semence (carie du blé, charbon nu) ou

¹ CRA-W – Département Durabilité, Systèmes & Prospectives – Unité Sols, Eaux et Productions Intégrées

² UCLouvain – Earth and Life Institute – Applied Microbiology – Mycologie

³ Visité le 01/02/2023

de certaines maladies telluriques (fusariose, septoriose). En agriculture biologique, les lots de semences sont généralement traités également, le vinaigre dilué étant le principal produit utilisé. A notre connaissance, l'effet des traitements de semences sur le développement de la symbiose mycorhizienne est peu connu.

Dans le cadre du projet MicroSoilSystem, l'UCLouvain, la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech (ULiège) et le CRA-W cherchent à mettre au point un biostimulant microbien (consortium CMA–bactérie) favorisant la mobilisation des nutriments dans les sols et la résistance aux maladies fongiques. En particulier, un des volets du projet consiste à identifier les facteurs agronomiques qui impactent l'abondance et la diversité des champignons mycorhiziens naturellement présents dans les sols agricoles de Wallonie afin de (1) promouvoir les bonnes pratiques agricoles pour la préservation de ces organismes bénéfiques et (2) d'envisager une utilisation optimale du biostimulant microbien.

Dans ce contexte, nous avons étudié l'effet des principaux traitements de semences de céréales utilisés en Wallonie sur la mycorhization du froment d'hiver, avec les hypothèses de travail suivantes : (1) les traitements de semence inhibent la mycorhization du froment ; (2) l'effet du traitement varie en fonction du ou des principes actifs impliqués.

L'étude s'est appuyée sur deux dispositifs expérimentaux :

- Une expérience en serre, afin d'étudier l'interaction entre les différents traitements de semence et la mycorhization du froment d'hiver par une souche de CMA inoculée, en conditions contrôlées.
- Un essai au champ, afin d'étudier l'interaction entre les différents traitements de semence et la mycorhization du froment d'hiver par les populations de CMA indigènes.

5.2 Matériel et méthodes

5.2.1 Traitements de semences

Tableau 1 – Caractéristiques des huit traitements de semences mis à l'étude.

Traitement	Substance(s) active(s)	Groupe chimique	Concentration	Dose (ml/100 kg)	Maladies ciblées
Redigo	Prothioconazole	Triazolinthione	100 g/l	100	carie, charbon nu, fusariose
Celest	Fludioxonil	Phénylpyrrole	25 g/l	200	carie, fusariose, septoriose
Difend	Difenoconazole	Triazole	30 g/l	200	carie
Difend extra	Difenoconazole Fludioxonil	Triazole Phénylpyrrole	25 g/l 25 g/l	200	carie, fusariose
Vibrance duo	Sedaxane Fludioxonil	Pyrazole Phénylpyrrole	25 g/l 25 g/l	200	carie, fusariose, septoriose, charbon nu
Kinto duo	Prochloraz Triticonazole	Imidazole Triazole	60 g/l 20 g/l	200	carie, charbon nu, fusariose
Vinaigre	Acide acétique	Acide organique	4 %	1000	carie
Cerall	Pseudomonas chlororaphis (MA 342)	Bactérie	10 ⁹ -10 ¹⁰ CFU/ml	1000	carie, (septoriose)

Huit traitements de semences ont été mis à l'étude (Tableau 1). Toutes les formulations sont liquides, sous forme de suspension concentrée. Parmi ces traitements, six sont agréés en agriculture conventionnelle et disponibles sur le marché wallon. Ceux-ci sont soit composés d'une seule substance active (Redigo, Celest et Difend), soit d'une association de deux principes actifs (Difend extra, Kinto duo et Vibrance duo). Les deux traitements de semence les plus fréquemment utilisés en agriculture biologique (vinaigre, Cerall) ont également été étudiés. Il est à noter que le Cerall est un produit à base de bactéries. Son action phytoprotectrice résulte de la libération de métabolites antifongiques. Néanmoins, son efficacité contre les maladies de la semence n'est pas totale, au même titre que le vinaigre.

5.2.2 Expérience en serre

Pour l'expérience, 180 pots individuels de 1 litre ont été préparés, soit 9 modalités de traitements de semence (8 traitements + 1 contrôle non traité) * 5 répétitions * 4 dates de prélèvement. Les pots ont été remplis d'un substrat de croissance constitué d'un mélange de sable fin et de vermiculite inoculé avec la souche de CMA *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833. Chaque pot contenait 10 plants de froment d'hiver (*Triticum aestivum*, variété chevignon) répartis de manière homogène. Au cours de la période de croissance, les plantes ont été alimentées par capillarité avec 200 ml par semaine d'une solution nutritive. Au cours de l'expérience, la température, l'humidité relative et l'intensité lumineuse moyennes ont été respectivement de $20,7 \pm 0,5$ °C, $44,9 \pm 7,7$ % et $31,0 \pm 31,9$ W/m.

Afin d'observer la dynamique de mycorhization du froment en fonction des traitements de semences, quatre campagnes de prélèvements ont eu lieu après 3, 5, 7 et 11 semaines de croissance. Pour un prélèvement, cinq pots par traitement ont été prélevés et la totalité du système racinaire a été nettoyée à l'eau claire afin d'en déterminer le taux de mycorhization.

5.2.3 Essai au champ

L'essai au champ a été semé à une densité de 300 grains/m² le 16 octobre 2020, à Thorembais-Saint-Trond (50,60 °N, 4,75 °E), avec 9 modalités de traitements de semences (8 traitements + 1 contrôle non traité) en quatre répétitions, réparties en bloc aléatoire complet. L'essai a été mené sans application de fongicide foliaire et avec une fertilisation azotée en trois fractions. Des prélèvements de racines ont eu lieu le 23/03, 13/04, le 04/05, le 27/05 et le 17/06/2021 pour la détermination des taux de mycorhization. A chaque date, quatre prélèvements de racines ont été réalisés dans chaque parcelle individuelle et rassemblés en un échantillon composite comprenant les systèmes racinaires d'une quinzaine de plants de froment. En raison du caractère extrêmement chronophage des mesures des taux de mycorhization, seuls les taux de mycorhization des traitements Celest, Difend extra et du contrôle ont pu être suivis.

5.2.4 Mesure de la colonisation racinaire par les CMA

Le taux de colonisation racinaire par les CMA a été déterminé par comptages au microscope selon la méthode McGonigle, après un traitement des racines permettant de colorer les structures fongiques (Figure 2). 100 observations ont été réalisées pour chaque échantillon, soit 500 observations par date de prélèvement et par traitement pour l'expérience en serre et 400 observations par date de prélèvement et par traitement pour l'essai au champ.

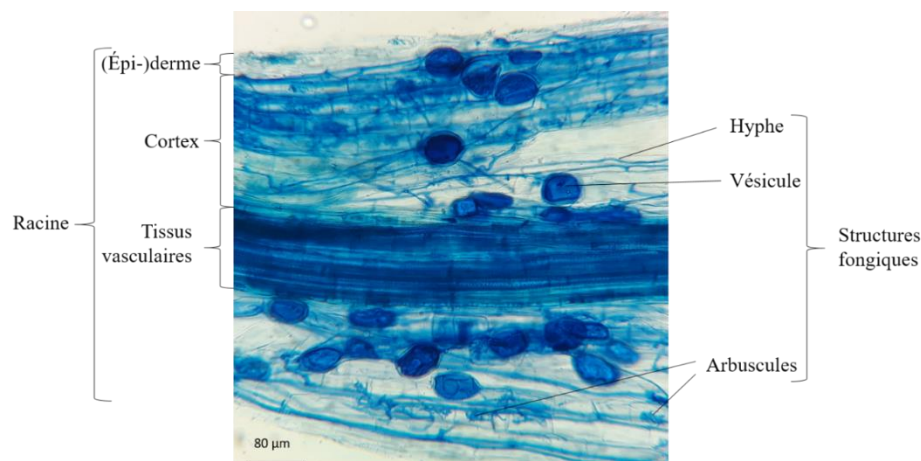


Figure 2 – Photographie microscopique d'une racine de froment fortement mycorhizée, avec des hyphes, des vésicules (organites de stockage) et des arbuscules (lieux d'échange entre la plante et le CMA).

5.3 Résultats

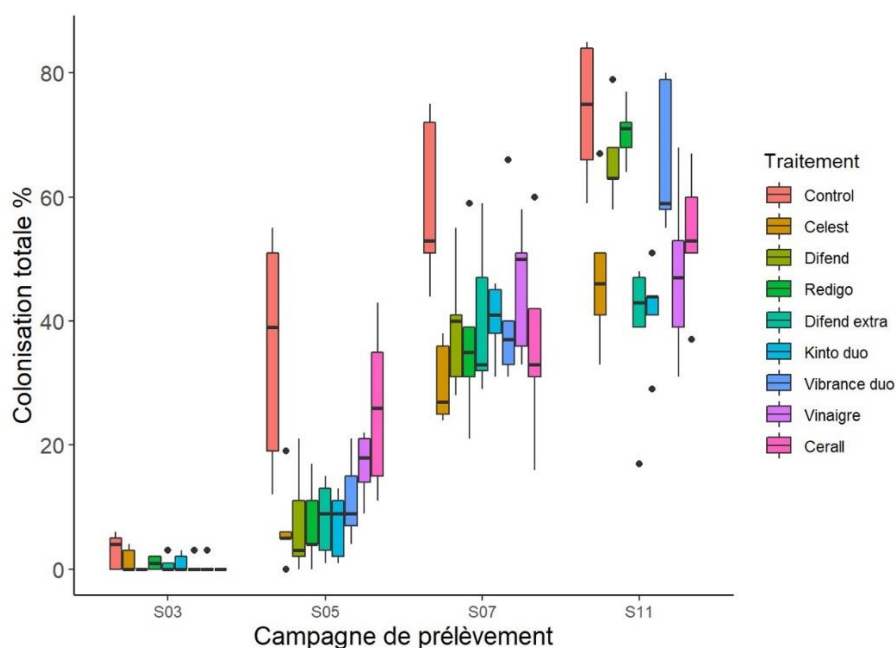


Figure 3 – Graphe en boîtes à moustaches des taux de mycorhization des racines de froment d'hiver en fonction de la campagne de prélèvement et des traitements de semences pour l'expérience en serre.

Pour les résultats de l'expérience en serre, l'effet des traitements de semences ($p < 0.0001$), du temps ($p < 0.0001$) et de l'interaction Traitement : Temps ($p = 0.0002$) sont très significatifs. En semaine 5 de croissance, tous les traitements sans exception accusent un retard de mycorhization par rapport au contrôle (Figure 3). Ce retard se résorbe au cours des semaines suivantes pour certains traitements (Difend, Redigo, Vibrance duo, Cerall), avec un rattrapage complet ou presque en semaine 11. En revanche, le retard reste significatif en fin d'expérience pour les traitements Celest, Difend extra, Kinto duo et vinaigre (Figure 3).

Pour l'essai au champ, les résultats suivent les mêmes tendances qu'en serre, malgré des taux de mycorhization bien plus faibles. Une inhibition de la mycorhization du froment d'hiver par

les traitements de semence a été observé à partir du 13/04. Les deux traitements suivis tendent à rattraper le contrôle lors de la dernière date de prélèvement (17/06), avec un rattrapage pratiquement complet pour le traitement Celest (fludioxonil) mais incomplet pour le traitement Difend extra (fludioxonil + difenoconazole).

5.4 Conclusions

Tous les traitements de semences testés ont entraîné un retard de mycorhization du froment d'hiver. Un phénomène de rattrapage partiel ou complet a été observé pour les produits simples (Difend, Redigo, Celest, vinaigre, Cerall), quel que soit le principe actif. Par contre, deux types d'effet ont été observés parmi les produits combinés.

Le Difend extra (fludioxonil + difenoconazole) et le Kinto duo (prochloraz + triticonazole) ont exercé une inhibition marquée sur la mycorhization pour les pas de temps avancés, empêchant un rattrapage complet du retard en fin d'expérience. Dans le cas du Difend extra, les deux principes actifs empêchent la formation des membranes cellulaires fongiques par inhibition de la synthèse des stérols (difenoconazole) et par inhibition de la phosphorylation du glucose (fludioxonil). Kinto duo impacte également la formation des membranes cellulaires fongiques, via l'accumulation de stérols non fonctionnels (triticonazole) et une inhibition de la synthèse des stérols (prochloraz). Ces résultats suggèrent que la combinaison de principes actifs empêche le CMA de développer des voies métaboliques alternatives pour contourner la toxicité.

Au contraire, le Vibrance duo (fludioxonil + sedaxane) a exercé un effet moins marqué sur la mycorhization que le Celest (fludioxonil) pour une quantité de fludioxonil équivalente. Une piste d'explication est l'amélioration de l'établissement racinaire induit par le sedaxane. En effet, il existe dans la littérature des preuves d'amélioration de la croissance racinaire du blé en présence de sedaxane, ce qui a pu être observé au cours de l'expérience en serre.

5.5 En résumé

Tous les traitements de semence retardent la mycorhization du froment d'hiver. Si un phénomène de rattrapage complet ou presque est observé pour les produits composés d'un seul principe actif, ce n'est pas le cas pour Kinto duo et Difend extra qui contiennent deux principes actifs affectant le développement des membranes cellulaires fongiques. Par contre, Vibrance duo (fludioxonil + sedaxane) impacte moins la mycorhization que Celest (fludioxonil seul). Ce résultat est attribué à une amélioration de la croissance racinaire induite par le sedaxane. Puisque les traitements de semence agréés en agriculture biologique (vinaigre, Cerall) retardent la mycorhization malgré une protection partielle contre les maladies de la semence, la recherche de méthodes d'assainissement des semences alternatives (ex. traitement vapeur) nous semble nécessaires pour garantir une protection maximale contre les maladies de la semence tout en limitant les effets sur les champignons bénéfiques du sol.

5.6 Remerciements

Nous remercions Charlotte Bataille, Pierre Hucorne et Gérald Marchal (CRA-W) pour le traitement des semences et les informations précieuses sur les principes actifs qu'ils contiennent ; l'équipe technique du laboratoire de mycologie de l'UCLouvain pour l'aide fournie dans le cadre des mesures des taux de mycorhization ; et l'équipe du Pôle Variétés et Phytotechniques du CRA-W pour le semis et le suivi phytotechnique de l'essai au champ.

6. Caractériser le pouvoir couvrant des céréales

A.-M. Faux¹, J. Legrand², A. Stalport³, M. Leclercq¹, O. Mahieu³, M. Bonnave³, F. Rabier¹

6.1 Introduction

La lutte contre les adventices est fréquemment citée comme contrainte majeure à la conversion à l'agriculture biologique (AB) (Hardy et al., 2021). Parmi les moyens de lutte, à l'instar du désherbage mécanique, la culture en tant que telle peut, par ses caractéristiques morphologiques, influencer le niveau d'infestation des adventices. A titre d'exemple, le triticale est plus compétitif que le blé tendre, tandis qu'il existe des différences variétales quant à la capacité des céréales à étouffer les adventices (Fontaine et al., 2009 ; Arvalis, 2013).

La compétitivité de la culture vis-à-vis des adventices peut être appréciée par la mesure du pouvoir couvrant. Celui-ci dépend de la surface foliaire et du port des plantes, lesquels influencent la distribution de la lumière dans le couvert – la plante ou son ombre couvre le sol et prive ainsi de lumière les autres plantes – et évoluent au cours du développement des plantes. Le pouvoir couvrant des céréales peut être évalué par différents paramètres, parmi lesquels la couverture foliaire, le port de la plante, le nombre de talles ou la largeur des feuilles. En termes de port, les variétés érectophiles, qui présentent des feuilles dressées le long de la tige, se différencient des variétés planophiles, dont les feuilles sont très étalées.

Traditionnellement, le pouvoir couvrant des céréales n'était pas considéré comme un caractère prioritaire dans les programmes de sélection, étant donné la possibilité de contrôler chimiquement les adventices. Plus récemment, le développement de l'AB et la réduction du recours aux herbicides ou l'apparition de résistances aux herbicides en agriculture conventionnelle, ont conduit à un regain d'intérêt pour sa caractérisation (Fontaine et al. 2009 ; Andrew et al., 2015). Il peut en effet constituer un levier agronomique intéressant à prendre en considération dans la lutte contre les adventices en combinaison avec d'autres méthodes (Arvalis 2013).

Depuis 2020, le pouvoir couvrant fait l'objet d'une caractérisation approfondie au sein des essais variétaux de céréales en AB menés conjointement par le CARAH, le CPL-Végémar et le CRA-W. Le recours à l'imagerie permettant d'objectiver la mesure de la couverture foliaire (Patrignani & Ochsner, 2015), la cotation visuelle de la couverture foliaire est couplée à la prise de photos. Celles-ci sont soumises à un logiciel d'analyse d'images automatisée qui en détermine la fraction correspondant à la canopée (Patrignani & Ochsner, 2015).

La présente étude a pour objectif d'améliorer la méthode d'évaluation du pouvoir couvrant des céréales, et plus spécifiquement de l'une de ses composantes, la couverture foliaire. Elle vise

¹ CRA-W – Département Productions agricoles – Unité Productions végétales & Cellule transversale de Recherche en agriculture biologique (CtRAb)

² CPL Végémar – Centre Provincial Liégeois de Productions Végétales et Maraichères – Province de Liège

³ CARAH asbl – Centre pour l'Agronomie et l'Agro-industrie de la Province de Hainaut

(i) à évaluer l'intérêt de l'analyse d'images comme méthode de caractérisation de la couverture foliaire des céréales, et (ii) à caractériser les relations entre couverture foliaire et autres paramètres morphologiques ou agronomiques potentiellement associés.

6.2 Matériels et méthodes

L'étude qui suit repose sur un total de 24 variétés présentes dans les essais variétaux de céréales biologiques en 2020, 2021 et 2022. Ces variétés incluaient 13 variétés de froment (Arminius, Chevignon, Christoph, Cubitus, Emotion, Energo, Every, Geny, Imperator, Montalbano, Togano, Wendelin et Wital), 7 variétés d'épeautre (Badensonne, Convoitise, Cosmos, Gletscher, Serenite, Vif et Zollernperle) et 4 variétés de triticale (Bilboquet, Brehat, Elicisir et Ramdam). Chaque essai était conçu selon un dispositif en quatre blocs aléatoires complets.

La couverture foliaire (CF) a été caractérisée (i) par cotation visuelle sur une échelle de 1 à 9 pour une couverture très faible à très élevée du sol, et (ii) par analyse d'images. Pour ce faire, une (en 2020) ou deux (en 2021 et 2022) photos par parcelle étaient prises avec un smartphone et soumises à un logiciel d'analyse d'images, l'application Canopeo (Patrignani & Ochsner, 2015) ou le package R FieldImageR (Matias et al., 20220). Le logiciel transforme la photo en image binaire et détermine le pourcentage de pixels correspondant à la canopée (Figure 1). La caractérisation de la CF a été effectuée entre une et cinq fois dans chacun des sites entre les stades plein tallage et deux nœuds (Tableau 1).

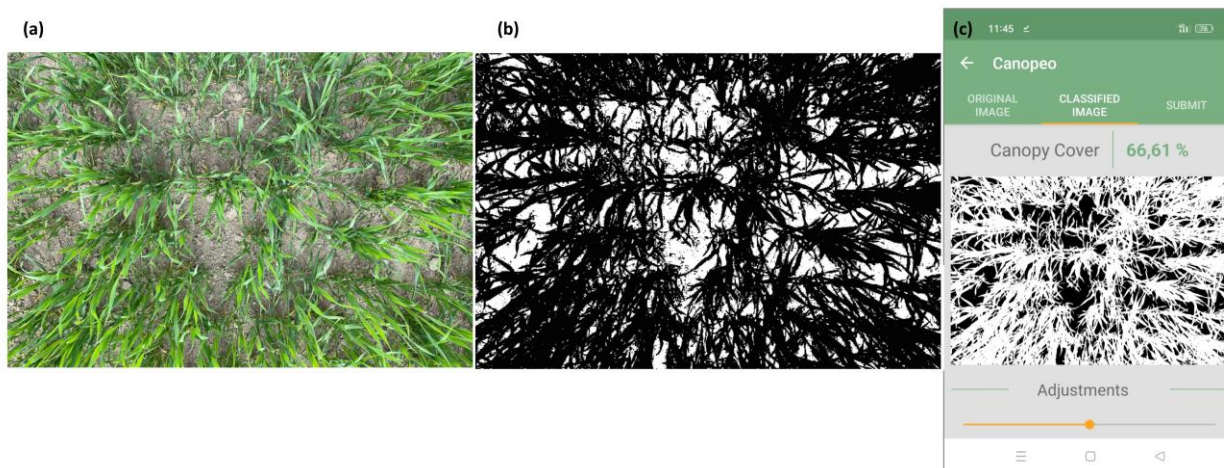


Figure 1 – Détermination de la couverture foliaire par imagerie illustrée avec la variété de froment Energo le 2/05/2022 à Assesse. (a) Photo prise avec un smartphone. (b) Masque créé lors de l'analyse avec le package FieldImageR, résultant en une couverture de 66.94%. (c) Capture d'écran de l'analyse avec l'application Canopeo, résultant en une couverture de 66.61%.

Outre la CF, différents paramètres morphologiques ont été caractérisés dans les essais de Rhisnes, Ohey et Assesse : le nombre de talles, la largeur des feuilles, cotée de 1 (feuilles très étroites) à 9 (feuilles très larges), et le port au tallage, coté de 1 (port dressé) à 9 (port étalé). A ces paramètres s'ajoutaient la densité de plantes à la sortie d'hiver et la précocité à l'épiaison.

Tableau 1 – Dates auxquelles la couverture foliaire a été caractérisée au sein des essais variétaux de céréales biologiques en 2020, 2021 et 2022.

	Site 1 ^a	Site 2 ^a	Site 3 ^a
2020	Ath	Rhisnes	Horion-Hozémont
CF_imagerie (%)	16/03 (FR, TR), 29/04 (TR)	19/03 (TR), 6/04, 16/04, 27/04	9/04, 15/05
CF_visuelle (1-9)	16/03 (EP), 13/05 (EP, FR)	19/03 (TR), 6/04 (EP, FR)	23/03 (EP, TR), 15/05
2021	Chièvres	Ohey	Horion-Hozémont
CF_imagerie (%)	1/03, 5/05	2/04, 14/04, 28/04, 6/05, 12/05	24/03, 29/04, 4/06 (TR)
CF_visuelle (1-9)		14/04, 22/04, 28/04, 6/05, 12/05	20/04
2022	Chièvres	Assesse	Grand-Axhe
CF_imagerie (%)	16/04	18/03, 4/04, 19/04, 2/05	24/03, 29/04
CF_visuelle (1-9)		18/03, 4/04, 19/04, 2/05	

^a Les 3 espèces, froment (FR), triticales (TR) et épeautre (EP), ont été observées aux dates pour lesquelles aucune espèce n'est spécifiée entre parenthèses.

6.3 Résultats

6.3.1 Intérêt de l'analyse d'images pour caractériser la couverture foliaire (CF) des céréales

La caractérisation par imagerie de la CF a mis en évidence son évolution avec le temps, conséquence de la croissance et du développement des plantes. La cotation visuelle de la CF n'a mis en évidence cet effet que pour le froment à Ohey, les cotes apparaissant indépendantes de la date d'observation dans les autres essais. La CF variait significativement entre essais, et sa mesure par imagerie indiquait une interaction significative entre essai (année, site) et date d'observation. Ces observations résultent du développement différé des plantes dans les différents essais. Par ailleurs, les deux méthodes de caractérisation de la CF mettaient en évidence une interaction significative entre les facteurs variété et essai. L'analyse des résultats variétaux montre que cette interaction s'explique en grande partie par le comportement variable, d'un essai à l'autre, de variétés présentant une CF intermédiaire. Enfin, à l'exception d'une variété d'épeautre et d'une variété de triticales à Ohey en 2021, l'effet de la date d'observation sur la CF ne variait pas selon la variété, suggérant que la CF de chacune des variétés évoluait de façon similaire durant la période d'observation, soit entre les stades plein tallage et deux nœuds.

En l'absence d'interaction significative entre variété et date d'observation, la consistance des observations de CF effectuées à des dates distinctes, au sein d'un même essai ou dans des essais distincts, a été éprouvée par le test de corrélations (Tableau 2).

IV. Perspectives

Tableau 2 – Résultats moyens (moyenne \pm écart-type) des tests de corrélation entre observations de la CF effectuées à des dates distinctes, lorsque la CF est cotée visuellement (CF_vis) ou mesurée par imagerie (CF_img).

Espèce ¹	Type de test ²	Nombre de tests ³	CF_vis	CF_img
Froment	intra-essais	12	0.81 \pm 0.07	0.83 \pm 0.1
	inter-essais	33	0.04 \pm 0.22	0.26 \pm 0.25
Epeautre	intra-essais	12	0.7 \pm 0.15	0.71 \pm 0.27
	inter-essais	33	0.3 \pm 0.33	0.47 \pm 0.2

¹ Les tests de corrélations n'ont pas été réalisés pour le triticale étant donné le très faible nombre de variétés pour cette espèce (4).

² Test 'intra-essai': test de corrélation entre observations réalisées à deux dates distinctes au sein d'un même essai. Test 'inter-essai': test de corrélation entre observations réalisées à deux dates distinctes dans des essais distincts (année et site différents).

³ Nombre de tests de corrélation considérés. Chaque test incluait 13 observations pour le froment et 7 pour l'épeautre, chaque observation correspondant à une variété donnée.

Les corrélations entre observations de CF effectuées à des dates distinctes au sein d'un même essai (tests intra-essais) étaient élevées, que la CF ait été cotée visuellement ou mesurée par imagerie, et ce, aussi bien en froment qu'en épeautre (~ 0.8 en froment et ~ 0.7 en épeautre). Les corrélations entre observations réalisées dans des essais distincts (tests inter-essais) étaient plus faibles et variaient fortement selon les paires de dates d'observation considérées. Néanmoins, la mesure de CF par imagerie offrait des corrélations moyennes inter-essais plus élevées que les cotations visuelles (0.26 vs 0.04 en froment, et 0.47 vs 0.3 en épeautre) et relativement moins variables, indiquant une meilleure consistance entre essais des observations effectuées par imagerie.

6.3.2 Relation entre couverture foliaire (CF) et autres paramètres morphologiques ou agronomiques

Une corrélation positive significative entre densité de plantes à la sortie d'hiver et CF a été observée dans moins du tiers des essais, démontrant la forte capacité des céréales à compenser une faible densité de plantes à la sortie d'hiver.

Les cotations visuelles et mesures par imagerie de la CF étaient positivement corrélées entre elles, la relation n'était cependant significative que dans 40 à 67% des essais selon l'espèce. La corrélation entre CF, et plus spécifiquement entre la CF mesurée par imagerie, et nombre de talles n'a pu être testée que dans deux essais, à savoir, à Ohey en 2021 en épeautre (corrélation non-significative) et en froment, où elle était significativement positive. Des comptages additionnels des talles sont nécessaires afin d'affirmer cette relation. Aucune corrélation n'a été observée ni entre CF et largeur des feuilles, ni entre CF et port au tallage. Une corrélation négative a été observée entre CF et précocité ; celle-ci était cependant significative dans un faible nombre d'essais, ne permettant pas d'en tirer un enseignement. Enfin, en froment et en triticale, le port au tallage était positivement corrélé à la précocité. Cette observation suggère qu'un port dressé est associé à une épiaison plus précoce, ou que les variétés précoces ont un port au tallage davantage dressé.

6.4 Discussion

Cet article dresse les premiers résultats méthodologiques des approches mises en place afin de caractériser le pouvoir couvrant, et plus spécifiquement l'une de ses composantes, la couverture foliaire (CF), au sein des essais variétaux de céréales biologiques.

La CF varie fortement selon l'environnement. Si des différences systématiques entre essais ne

remettent pas en question le classement des variétés, l'observation de comportements variétaux différents entre essais est plus problématique. A l'image des résultats de Fontaine et al. (2009), ceci était particulièrement le cas pour les variétés présentant une CF intermédiaire, lesquelles ne sont pas évidentes à classer. Cette observation invite à distinguer les essais lors de la présentation des résultats variétaux.

Le recours à l'imagerie apparaît intéressant pour caractériser la CF. En effet, face à la variabilité relativement élevée de la CF, l'imagerie offrait des résultats plus consistants entre essais que la cotation visuelle. L'imagerie permet par ailleurs de caractériser l'évolution de la CF avec le temps et peut donc mettre en évidence des évolutions divergentes de la CF selon la variété. Si ceci ne fut pas observé dans notre analyse, focalisée sur la période située entre les stades plein tallage et deux nœuds, il peut en aller différemment lorsque la CF est caractérisée jusqu'à l'épiaison (Fontaine et al., 2009).

Aucune relation claire n'est apparue entre CF, d'une part, et largeur des feuilles ou port au tallage, d'autre part. Cette observation invite à abandonner la cotation de la largeur des feuilles. Quant au port au tallage, sa corrélation avec la précocité et son implication pour le désherbage mécanique en font un paramètre qui demeure intéressant à observer. Enfin, l'intérêt de comptages additionnels des talles pour expliquer la CF est à évaluer en considérant la difficulté de la mesure et le temps nécessaire à sa réalisation.

Finalement, nous soulignerons que les adventices étaient contrôlées au sein des présents essais, par la réalisation de plusieurs désherbages mécaniques ou manuels. Des essais réalisés dans des conditions d'infestation importante ont mis en évidence l'importance de la hauteur de la plante comme facteur explicatif du pouvoir concurrentiel face aux adventices, avec la CF et le port au tallage (Fontaine et al., 2009). Nous rappellerons enfin que le choix d'une variété couvrante doit être combiné à d'autres méthodes agronomiques pour limiter le développement des adventices en cas de forte infestation (Arvalis, 2013).

6.5 Remerciements

Les auteurs remercient les agriculteurs chez qui les essais ont été mis en place et les équipes techniques pour la mise en place, l'entretien et la récolte des essais.

6.6 Références

Andrew I.K.S., Storkey J., Sparkes D.L. (2015). A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. *Weed research* 55:239-248.

Arvalis (2013). Les Essentiels d'ARVALIS - Désherbage / Leviers agronomiques : peut-on valoriser le pouvoir couvrant des cultures ? <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/desherbage-des-cereales-paille-leviers-agronomiques-peut-valoriser-le-pouvoir>. Page consultée le 23/01/2023.

Fontaine L., Bernicot M.-H., Rolland B., Poiret L. (2009). Des variétés rustiques concurrentes des adventices pour l'agriculture durable, en particulier l'agriculture biologique. *Innovations Agronomiques INRA* 4:115-124.

Hardy B., Vanwindekens F., Morelle M., Huyghebaert B. (2021). La conversion à l'agriculture biologique en Wallonie : moteurs, contraintes et enjeux. *Itinéraires Bio* 56:57-62.

Matias F.I., Caraza-Harter M.V., Endelman J.B. (2020). FIELDimageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. *The Plant Phenome J.* DOI: 10.1002/ppj2.20005.

Patrignani A., Ochsner T. E. (2015). Canopeo: a powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy Journal* 107:2312-2320.