

Végéphy – 24^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
ORLÉANS – 3, 4 et 5 DÉCEMBRE 2019

**IMPACT DU TRAVAIL DU SOL ET DES COUVERTS VÉGÉTAUX EN INTERCULTURE SUR LA GESTION DES
ADVENTICES EN GRANDES CULTURES**

C. ALLETRU et J. LABREUCHE
j.labreuche@arvalis.fr

ARVALIS - Institut du Végétal - Station expérimentale
91720 BOIGNEVILLE - FRANCE

RÉSUMÉ

La restriction voire la suppression de certains herbicides en Europe est un enjeu actuel majeur dans le monde agricole. De fait, les herbicides jouent un rôle déterminant dans le contrôle des adventices. Ce contrôle est important car les adventices induisent des pertes de rendement et de qualité de production non négligeables. Cependant, les herbicides sont néfastes pour l'environnement, la biodiversité voire la santé humaine. Dans ce contexte, d'autres leviers d'actions sont à étudier. L'impact de différents types de travail du sol et des cultures intermédiaires sur la flore adventice a été mesuré en fin de cycle de culture marchande sur 4 essais situés à Boigneville (91). Les principales conclusions indiquent que le labour induit une densité et une richesse spécifique d'adventices plus faible que le semis direct. Néanmoins, ces effets sont variables selon la biologie de chaque adventice. Les cultures intermédiaires n'ont pas montré d'impact sur les adventices dans les cultures suivantes.

Mots-clés : flore adventice, travail du sol, labour, semis direct, cultures intermédiaires.

ABSTRACT

One of the current main issue in Europe regarding farming context is about the limitation in herbicide's use. In fact, it is one of the most important way to manage weeds. Weed's control is essential because they can imply considerable yield loss as well as quality loss. However, herbicides are responsible for environmental, biodiversity and health problems. Given this context, other ways to control weeds need to be studied. The impact of different types of tillage and cover crops on weed population was studied on 4 different field trials located in Boigneville (70 km south from Paris). The analysis stated that ploughing implied a smaller weed density and a smaller weed diversity than direct drilling. However, these effects are complex, depending on weed species traits. Cover crops had no impact on weed population in the following crops.

Keywords: weed, tillage, ploughing, direct drilling, cover crops.

INTRODUCTION

« Etre en mesure de pouvoir répondre à la demande alimentaire mondiale ». C'est le défi auquel l'agriculture moderne va devoir faire face au vu de la population mondiale grandissante (FAO, 2009) et de la réduction constante des Surfaces Agricoles Utilisables (Bongaarts, 1994 ; Godfray *et al.*, 2010). Depuis plusieurs décennies, les pratiques agricoles ont déjà évolué dans le but d'augmenter la productivité requise (Mazoyer et Roudart, 1997 ; Griffon, 1999). Néanmoins, certaines pratiques mises en place sont devenues sources de débats telles que l'utilisation des produits phytosanitaires et plus particulièrement des herbicides. Ils sont au centre de la controverse au vu de leurs impacts négatifs sur l'environnement en étant responsables de la majeure partie de la pollution des eaux de surfaces et souterraines et de la perte de biodiversité (ifen.fr ; Stoate *et al.* 2001 ; Tilman *et al.* 2011) ; mais aussi d'impacts néfastes sur la santé (Waggoner *et al.*, 2013). Ces effets ont créé une forte inquiétude au sein de l'opinion publique. Les pressions sociétales alors exercées, ont amené les politiques de décision à se tourner vers une réduction des herbicides (Rodriguez et Gasquez, 2008). A

l'avenir, un durcissement dans la législation de ces produits semble inévitable comme avec l'apparente future suppression du glyphosate (AG, 2019). Cependant, les herbicides permettent un désherbage efficace et rapide des adventices (Munier-Jolain *et al.*, 2008). Ce contrôle des adventices est essentiel car elles induisent des pertes de rendement et de qualité de production non négligeables (Oerke, 2006). Ceci peut avoir des conséquences dramatiques sur la santé (e.g. toxicité des récoltes) et remet en question la capacité à pouvoir nourrir la population (Gasquez, 2018).

Dans le même temps, de nouvelles pratiques agricoles se sont développées (Labreuche *et al.*, 2007 ; Métais *et al.*, 2019). Il s'agit des techniques culturales sans labour (TCSL) et des cultures intermédiaires. Les premières répondent à différents objectifs tels que la réduction des charges de mécanisation, du temps de travail et de l'érosion (Roger-Estrade *et al.*, 2014). Quant aux cultures intermédiaires, imposées par la Directive Nitrates, elles visent principalement à limiter les fuites de nitrate vers les nappes (Cohan *et al.*, 2011) bien qu'elles rendent d'autres services comme protéger les sols (Labreuche, 2011). Leurs effets sur la dynamique adventices sont à éclaircir bien qu'elles semblent avoir un rôle dans leur gestion (Shrestha *et al.*, 2001). Pour améliorer les connaissances sur le sujet, des études ont été menées sur les « Essais Travail du sol de longue durée de Boigneville » à Arvalis-Institut du végétal (Essonne, France). L'étude se concentre sur les impacts du travail du sol et des cultures intermédiaires sur la dynamique de la flore adventice présente en fin de cycle de culture marchande.

MATERIELS ET METHODES

Matériels

Pour répondre à la problématique, des analyses de données ont été réalisées à partir de suivis d'adventices en fin de cycle des cultures marchandes de 2012 à 2017 sur les 4 « essais travail du sol de longue durée » de Boigneville (91) nommés « A1 », « E », « A2 » et « C ». Ils se situent sur un plateau avec des sols limono-argileux assez profonds sur calcaire dur. Ces essais sont très proches les uns des autres en termes de conduite mais ont chacun leur propre rotation culturale. Ils comparent deux à trois types d'implantation des cultures (labour, semis direct voire Technique Culturelle Simplifiée ou TCS). Certains intègrent une comparaison avec et sans cultures intermédiaires.

L'essai A1 a été initié en 1971 et intègre depuis le départ une rotation maïs grain/blé tendre d'hiver. Il a 2 répétitions sur 2 points d'entrée (1 et 2) qui débutèrent avec le blé en 1 et le maïs en 2 en 1971. A1 se décline en 10 modalités : LAB1N, LAB1C, TCS1N, TCS2N, TCS1C, TCS2C, SD1N, SD2N, SD1C et SD2C. Trois types de travail du sol sont présents : « LAB » pour un labour annuel à 20 cm, « TCS » pour un travail superficiel entre 5 et 10 cm et « SD » pour un semis direct avec une perturbation du sol limitée à la ligne de semis. La comparaison avec « C » ou sans « N » culture intermédiaire a eu lieu avant les récoltes de maïs de 2002 à 2016. Quant à la période de destruction du couvert, elle comprend les traitements de destruction précoce des couverts (fin novembre pour « 1C ») et tardive (mi-mars pour « 2C »). De 2012 à 2016, la gestion des sols nus a été similaire entre « 1N » et « 2N », à l'exception des TCS sur lesquelles le travail du sol a été similaire entre 1N et 1C (incluant un travail du sol en entrée d'hiver) et similaire entre 2N et 2C (sans travail du sol en entrée d'hiver). Les couverts ont été généralement implantés la deuxième semaine d'août avec diverses espèces (e.g. moutarde, phacélie). La destruction des couverts s'est faite par voie mécanique en LAB et si possible en TCS. Elle s'est faite par voie chimique (glyphosate) sur les modalités SD (voire TCS).

L'essai E, démarré en 1992, possède 3 répétitions sur une rotation de féverole d'hiver/blé tendre d'hiver/orge de printemps/maïs grain/blé tendre d'hiver sur la période 2012-2016. Il se décline en 8 modalités : LABNP, LABNA, LABCCruP, LABCLegP, SDNA, SDCruA, SDCLegA et SDCMelA. Les modalités en LAB et SD se décrivent de la même manière qu'en A1. Du déchaumage est présent sous labour dans les modalités « P » et absent dans les modalités « A ». Le couvert en interculture peut être absent (« N »), ou présent (« C ») avec soit : un couvert de crucifère (« Cru » = radis chinois), un de légumineuse (« Leg » = vesce du Bengale) ou une association de ces deux derniers (« Mel »).

L'essai A2 ne possède pas de répétition mais 4 sous blocs intégrant chacun une des cultures de la rotation betterave sucrière/blé tendre d'hiver/oléagineux/orge de printemps. L'essai C ne possède pas non plus de répétition. Il a été conduit en monoculture de blé de 1971 à 2010. Le blé de la campagne 2009/2010 a dû être détruit à cause d'une forte infestation en ray grass. L'essai a ensuite été mis en rotation en 2011 avec du pois de printemps suivi de l'enchaînement colza/blé tendre d'hiver/maïs grain/orge de printemps/blé tendre d'hiver jusqu'en 2016. Les 2 essais possèdent 3 modes de travail du sol comme en A1 : « LAB », « TCS », et « SD ». Des couverts ont été introduits en interculture pour chaque modalité et furent détruits en entrée d'hiver avant les cultures de printemps.

Méthodes

L'espèce et la densité de chaque espèce présente ont été relevées en fin de cycle des cultures marchandes. Deux types de notation ont été utilisées. Il y a d'abord eu le comptage au cadre. Les adventices ont été dénombrées sur 6 à 12 cadres de 0.25 m² par parcelle élémentaire de 2012 à 2017. La méthode Barralis (Barralis, 1976) fût aussi utilisée en 2017, sauf pour le blé de l'essai A1 et le colza de l'essai A2. L'ensemble des espèces présentes sont relevées dans chaque parcelle élémentaire, en renseignant leur(s) stades de développement (6 classes) et leur densité (8 classes, échelle type logarithmique). Pour exploiter les densités, la valeur moyenne de la classe a été retenue. Des analyses ont été réalisées à partir de ces relevés. Les différentes variables étudiées par traitements sont : la densité totale d'adventices (plantes/m²), la densité totale selon le type biologique (vivace ou annuelle) et le type de famille des adventices (dicotylédone/graminée) en plantes/m², la densité par espèce (plantes/m²), et la richesse spécifique (espèces/cadre de 0.25 m², sauf en cas de Barralis). L'étude vise à savoir s'il y a un effet des différents traitements des essais sur les variables citées ci-dessus pour les adventices obtenues en fin de cycle des cultures marchandes.

Pour A1 et E, des analyses statistiques sont réalisées à l'aide du Logiciel R. Les hypothèses de similarité des valeurs entre traitements sont refusées si la probabilité « p value » est en dessous de la valeur seuil de 0.05. On évoquera des « tendances » si les p value obtenues sont entre 0.05 et 0.1.

Les analyses statistiques de l'essai A1 ont été réalisées de 2011/2012 à 2016/2017. Les relevés d'adventices n'ont pas été effectués en 2013 et en 2016. De plus, toutes les modalités sont passées en sols couverts en interculture en 2016/2017. Le modèle utilisé pour analyser chaque variable fût :

$$y_{mpab} = \text{constante} + \text{modalité}_m + \text{point_entrée}_p + \text{année}_a + \text{modalité}_m * \text{point_entrée}_p + \text{modalité}_m * \text{année}_a + \text{point_entrée}_p * \text{année}_a + \text{bloc}_b + \text{erreur}_{mpab}.$$

Sachant que le dispositif expérimental n'est pas équilibré, les moyennes des modalités sont comparées à l'aide de la méthode des contrastes pour le type de travail du sol, le type de couverture du sol en interculture et sa période de destruction, ainsi que les possibles interactions présentes entre ces variables. Pour observer toutes choses égales par ailleurs, l'effet de la période de destruction des couverts et sols nus n'est analysée que sur les modalités TCS.

Les analyses statistiques de l'essai E ont été réalisées de 2011/2012 à 2015/2016. Le modèle utilisé pour analyser chaque variable fût : $y_{mab} = \text{constante} + \text{modalité}_m + \text{année}_a + \text{bloc}_b * \text{année}_a + \text{modalité}_m * \text{année}_a + \text{bloc}_b + \text{erreur}_{mab}.$

Sachant que le dispositif expérimental n'est pas équilibré, les moyennes des modalités sont comparées à l'aide de la méthode des contrastes pour le type de travail du sol, avec ou sans déchaumage sous labour, le type de couverture du sol en interculture et le type de couvert utilisé, ainsi que les possibles interactions présentes entre ces variables. Pour observer toutes choses égales par ailleurs pour l'effet du type de couverture du sol, seuls les couverts de crucifères et de légumineuses sont pris en compte pour les modalités de sols couverts. Pour observer l'effet du type de couvert, une analyse est réalisée en prenant seulement en compte les couverts de crucifères et de légumineuses. Pour observer les trois types de couverts présents dans l'essai, seules les données sous semis direct sont prises en compte.

Pour l'essai A2, les données ont été récoltées de 2012 à 2017 et de 2012 à 2016 pour C. Sachant qu'il n'y a pas de répétitions de traitements, seules des observations et remarques sont citées à partir de graphiques réalisés sur les variables d'étude évoquées ci-dessus.

Et enfin, par essai, pour chaque type de travail du sol uniquement : la densité totale moyenne, la densité moyenne par espèces principales obtenues, la richesse spécifique totale et la densité totale moyenne par type sont renseignées dans un tableau pour faire l'objet de remarques à discuter. Les espèces principales retenues obtiennent une densité moyenne toutes années confondues pour chaque type de travail du sol par essai supérieure à 0.01 plantes/m².

RESULTATS

Densité totale

La densité totale adventice est plus élevée en semis direct qu'en labour dans tous les essais sauf pour l'essai C. Le TCS obtient des valeurs intermédiaires. Les couverts d'interculture ne montrent que peu ou pas d'effet sur l'enherbement en fin de cycle de la culture qui suit.

Essai A1 : la densité totale moyenne des adventices est inférieure pour LABN et LABC comparé aux modalités TCS2N, SD1C et SD2C. Le LABN tend aussi à avoir des densités plus faibles que celles des modalités TCS2C, SD1N et SD2N. Les valeurs du SD1C sont aussi supérieures à celles du TCS1C. En conclusion, le labour et le TCS possèdent des densités inférieures à celles du semis direct (avec des *p values* respectives de 0.003 et 0.011). Le type de couverture du sol utilisé en interculture ainsi que leur période de destruction n'ont pas d'effet significatif sur la densité des adventices présentes en fin de cycle des cultures marchandes. Néanmoins, sous modalités de semis direct, des tendances (*p value*= 0.11) se dessinent avec des valeurs plus élevées après un sol couvert (Fig.1).

Essai E : La densité totale moyenne est plus faible en labour qu'en semis direct (*p value*<0.001) sauf pour la modalité de SDCCrucia comparé à celles de LABC et LABNP (Fig.2). Il n'y a pas d'effet du type de couverture du sol, ni d'effet du déchaumage. Sous semis direct, les valeurs obtenues après un couvert de crucifères tendent à être supérieures à celles en légumineuses avec *p value*=0.075.

Essai A2 : la densité totale moyenne des adventices semble plus faible en labour (3.1 plantes/m²) et en TCS (5.7 plantes/m²) qu'en semis direct (11.1 plantes/m²) (Tab.III).

Essai C : la densité totale moyenne semble plus élevée en labour (5.8 plantes/m²) qu'en TCS (2.5 plantes/m²) et qu'en semis direct (2.7 plantes/m²) (Tab.III).

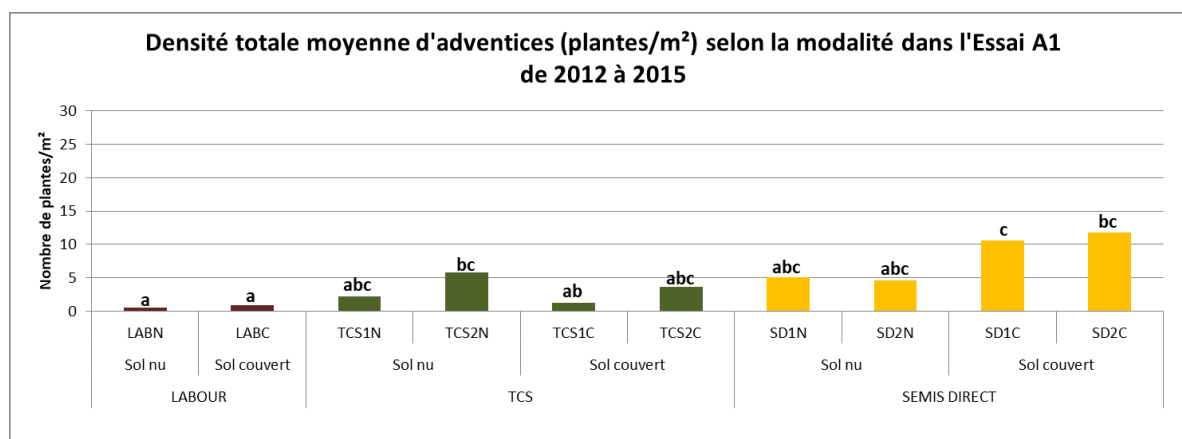


Figure 1 : Densité totale moyenne (nombre de plantes/m²) des adventices présentes selon la modalité dans l'Essai A1 de 2012 à 2015.

Total average weed abundance (plants/m²) in the « A1 » trial from 2012 to 2015.

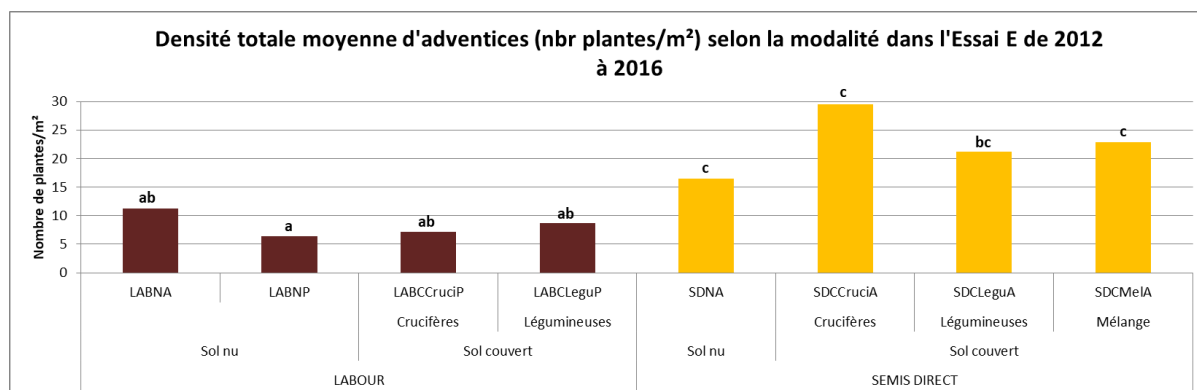


Figure 2 : Densité totale moyenne (nombre de plantes/m²) des adventices présentes selon la modalité dans l'Essai E de 2012 à 2016.

Total average weed abundance (plants/m²) in the « E » trial from 2012 to 2016.

Densité totale selon le type biologique et le type de famille

Les adventices vivaces sont peu représentées dans les essais. Les graminées annuelles sont surtout présentes en A1. Comme pour les dicotylédones annuelles, elles sont favorisées en semis direct. L'effet des autres traitements ne sont pas visibles dans les essais.

Essai A1 : les densités d'adventices annuelles sont inférieures en labour et en TCS comparé au semis direct (*p value* respectives de 0.002 et 0.022), tout comme pour les dicotylédones (*p value* respectives de 0.021 et de 0.036) et pour les dicotylédones annuelles (*p value* respectives de 0.009 et 0.031). Pour les graminées, les densités sont inférieures en labour comparé au semis direct (*p value*=0.011) tandis que les TCS tendent juste à avoir des valeurs inférieures à celles du semis direct avec *p value*=0.058. Il est à noter qu'il y a moins d'espèces de graminées que de dicotylédones dans l'essai mais les graminées ont des densités plus élevées. Néanmoins, il n'y a pas d'effet significatif des traitements sur la densité des adventices vivaces bien qu'elle semble plus faible en labour (Tab.II).

Essai E : les densités d'adventices annuelles et de dicotylédones sont inférieures en labour comparé au semis direct (*p value*<0.001) tout comme pour les dicotylédones annuelles (*p value*<0.001). En semis direct, les densités des annuelles tendent à être plus élevées derrière un couvert de crucifères que de légumineuses (*p value*=0.068) comme pour les dicotylédones (*p value*=0.104) et aussi les dicotylédones annuelles (*p value*=0.060). Il tend à y avoir une densité de graminée inférieure en labour comparé au semis direct (*p value*=0.088). Il n'y a aucun effet des traitements sur la densité des adventices vivaces.

Essai A2 : il semble y avoir une densité totale moyenne plus élevée d'adventices annuelles et dicotylédones avec la réduction du travail du sol. Néanmoins, ceci est limité en TCS comparé au semis direct. La densité des adventices vivaces et graminées semble être légèrement plus élevée en TCSL qu'en labour mais ces divergences sont moins flagrantes sachant qu'il y a peu de vivaces et de graminées dans l'essai (Tab.II).

Essai C : il semble y avoir une densité totale moyenne plus élevée d'adventices annuelles et dicotylédones voire de graminées en labour comparé aux TCSL. Les densités vivaces semblent aussi très légèrement plus élevées en labour qu'en TCSL (Tab.II).

Tableau II : Densités totales moyennes obtenues (plantes/m²) selon le type de famille et le type biologique dans les 4 essais du travail du sol de longue durée de Boigneville de 2012 à 2017*.
Total average weed density (plants/m²) according to their biology in 4 « long term soil tillage trials » in Boigneville from 2012 to 2017.

Essais	Type de travail du sol	Dicotylédones				Graminées				Annuelle				Dicotylédones vivace				Graminées vivace			
		Dicotylédones	Graminées	Annuelle	Vivace	Dicotylédones	Graminées	Annuelle	Vivace	Dicotylédones	Graminées	Annuelle	Vivace	Dicotylédones	Graminées	Annuelle	Vivace	Dicotylédones	Graminées	Annuelle	Vivace
Essai A1	Labour	0,70 (a)	0,26 (a)	0,80 (a)	0,16 (a)	0,54 (a)	0,16 (a)	0,26 (a)	0,00 (a)	0,54 (a)	0,16 (a)	0,26 (a)	0,00 (a)	0,54 (a)	0,16 (a)	0,26 (a)	0,00 (a)	0,54 (a)	0,16 (a)	0,26 (a)	0,00 (a)
	TCS	1,20 (a)	1,21 (ab)	2,16 (a)	0,27 (a)	0,94 (a)	0,26 (a)	1,21 (ab)	0,00 (a)	0,94 (a)	0,26 (a)	1,21 (ab)	0,00 (a)	0,94 (a)	0,26 (a)	1,21 (ab)	0,00 (a)	0,94 (a)	0,26 (a)	1,21 (ab)	0,00 (a)
	Semis direct	2,62 (b)	6,92 (b)	8,76 (b)	0,78 (a)	1,86 (b)	0,77 (a)	6,92 (b)	0,00 (a)	1,86 (b)	0,77 (a)	6,92 (b)	0,00 (a)	1,86 (b)	0,77 (a)	6,92 (b)	0,00 (a)	1,86 (b)	0,77 (a)	6,92 (b)	0,00 (a)
Essai E	Labour	10,02 (a)	0,08 (a)	9,58 (a)	0,26 (a)	9,40 (a)	0,25 (a)	0,07 (a)	0,00 (a)	9,40 (a)	0,25 (a)	0,07 (a)	0,00 (a)	9,40 (a)	0,25 (a)	0,07 (a)	0,00 (a)	9,40 (a)	0,25 (a)	0,07 (a)	0,00 (a)
	TCS	PAS DE VALEURS				PAS DE VALEURS				PAS DE VALEURS				PAS DE VALEURS				PAS DE VALEURS			
	Semis direct	23,89 (b)	0,38 (a)	24,02 (b)	0,25 (a)	23,63 (b)	0,25 (a)	0,38 (a)	0,00 (a)	23,63 (b)	0,25 (a)	0,38 (a)	0,00 (a)	23,63 (b)	0,25 (a)	0,38 (a)	0,00 (a)	23,63 (b)	0,25 (a)	0,38 (a)	0,00 (a)
Essai A2	Labour	2,91	0,19	2,80	0,27	2,64	0,27	0,16	0,00	2,64	0,27	0,16	0,00	2,64	0,27	0,16	0,00	2,64	0,27	0,16	0,00
	TCS	5,00	0,74	4,99	0,66	4,35	0,66	0,64	0,00	4,35	0,66	0,64	0,00	4,35	0,66	0,64	0,00	4,35	0,66	0,64	0,00
	Semis direct	10,57	0,55	10,38	0,68	9,86	0,68	0,52	0,00	9,86	0,68	0,52	0,00	9,86	0,68	0,52	0,00	9,86	0,68	0,52	0,00
Essai C	Labour	3,76	2,00	5,27	0,46	3,27	0,46	2,00	0,00	3,27	0,46	2,00	0,00	3,27	0,46	2,00	0,00	3,27	0,46	2,00	0,00
	TCS	1,37	1,13	2,20	0,07	1,13	0,07	1,07	0,00	1,13	0,07	1,07	0,00	1,13	0,07	1,07	0,00	1,13	0,07	1,07	0,00
	Semis direct	1,69	1,00	2,58	0,11	1,64	0,04	0,93	0,07	1,64	0,04	0,93	0,07	1,64	0,04	0,93	0,07	1,64	0,04	0,93	0,07
Moyennes	Labour	4,35	0,63	4,61	0,29	3,96	0,29	0,62	0,00	3,96	0,29	0,62	0,00	3,96	0,29	0,62	0,00	3,96	0,29	0,62	0,00
	Semis Direct	9,69	2,21	11,43	0,46	9,25	0,44	2,19	0,02	9,25	0,44	2,19	0,02	9,25	0,44	2,19	0,02	9,25	0,44	2,19	0,02

*Les groupes statistiques correspondent uniquement à des analyses réalisées par essai et par type d'adventice séparés.

Légende :

<0.49 plantes/m ²	1< pl/m ² <2,99	7 <pl/m ² <49.99
0.5< pl/m ² <0.99	3< pl/m ² <6.99	pl/m ² >=50.00

Abondance par espèces

En premier lieu, une spécialisation de la flore adventice entre les essais est observée (Tab.III). Par exemple, il y a des PSD (Panic Sétaire Digitaire) uniquement en A1 alors que le ray grass sp. est surtout présent dans l'essai C et la majorité de séneçon sp. est dans l'essai E voire A2. Dans l'essai A1, l'espèce qui ressort le plus sont les PSD (principalement panic pied de coq) qui augmente avec la réduction du travail du sol. Il y a aussi du liseron des champs, du gaillet gratteron, voire du laiteron sp. qui possèdent des densités légèrement plus élevées en TCSL qu'en labour. Les renouées sp. (principalement renouée liseron) sont cependant un peu plus élevées en TCS (Tab. III). Dans l'essai E, les espèces majeures sont le séneçon sp. (principalement séneçon commun) et le gaillet gratteron qui sont bien plus présentes en semis direct, bien qu'aussi présentes sous labour. Il y a aussi du laiteron sp et du ray grass sp. dont les densités augmentent avec la réduction du travail du sol. Les chénopodes sp., mourons sp. et morelles noires semblent néanmoins avoir des densités similaires entre labour et semis direct. Par ailleurs, les renouées sp. (voire la véronique sp.) possèdent des densités plus élevées en labour qu'en semis direct (Tab. III). Dans l'essai A2, les espèces les plus présentes sont le séneçon sp. puis le gaillet gratteron et le laiteron sp. avec des densités de plus en plus élevées avec la réduction du travail du sol. Il y a aussi un peu de pissenlit sp., d'amarante sp., du paturin sp. et du chénopode sp. dont les densités semblent aussi augmentées avec la réduction du travail du sol. Cependant, il est à noter que les densités des renouées sp. sont plus élevées en TCS. De plus, les densités de la morelle noire sont plus élevées en labour qu'en TCSL (Tab. III). Dans l'essai C, les espèces qui ressortent le plus sont le ray grass sp. et le gaillet gratteron dont les densités sont plus élevées en labour qu'en TCSL. Les densités sont aussi un peu plus élevées en labour pour le mouron sp. voire pour la morelle noire, le liseron des champs et le laiteron sp. Seul le chénopode sp. possède des densités plus élevées en TCSL qu'en labour (Tab. III).

Tableau III: Densités moyennes des principales espèces d'adventices présentes dans les 4 essais du travail du sol de longue durée de Boigneville de 2012 à 2017 selon le type de travail du sol.
Average weed abundance for the main weed species that occur in 4 « long term soil, tillage trials » in Boigneville from 2012 to 2017, given the type of tillage used.

Essais	Travail du sol	Ray-grass sp.	PSD	Liseron des champs	Senegon sp.	Laiteron sp.	Pissenlit sp.	Renouée sp.	Gaillet gratteron	Chénopode sp.	Morelle noire	Mouron sp.	Véronique sp.	Féverole	Paturin sp.	Amaranthe sp.	Blé	Densité moyenne totale
Essai A1	Labour	0.01	0.10	0.06	0.00	0.09	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.23	0.92
	TCS	0.07	1.27	0.34	0.03	0.11	0.00	0.41	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.07	1.42
	Semis direct	0.06	4.87	0.42	0.02	0.16	0.03	0.15	0.42	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00	0.09	0.01	0.20	9.39
Essai E	Labour	0.06	0.00	0.21	2.14	1.06	0.04	2.24	0.83	0.56	0.34	1.23	0.47	0.43	0.02	0.00	0.00	8.40
	TCS	PAS DE VALEURS																
	Semis direct	0.33	0.00	0.13	11.06	2.40	0.12	0.72	5.82	0.94	0.38	1.78	0.13	0.12	0.03	0.04	0.00	22.50
Essai A2	Labour	0.03	0.00	0.00	0.37	0.39	0.05	0.16	0.02	0.09	1.18	0.00	0.00	0.10	0.10	0.19	0.03	3.10
	TCS	0.09	0.00	0.33	0.91	0.91	0.14	0.75	0.56	0.30	0.34	0.03	0.00	0.10	0.57	0.17	0.00	5.75
	Semis direct	0.03	0.02	0.00	5.11	1.15	0.61	0.25	1.61	0.47	0.30	0.00	0.00	0.00	0.41	0.68	0.03	11.13
Essai C	Labour	1.96	0.00	0.31	0.00	0.42	0.15	0.08	1.35	0.15	0.31	0.60	0.02	0.00	0.04	0.04	0.00	5.76
	TCS	1.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.07	0.00	0.42	0.16	0.11	0.04	0.02	0.00	0.07	0.07	0.00	2.50
	Semis direct	0.84	0.00	0.00	0.00	0.13	0.04	0.00	0.38	0.87	0.04	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.69
Moyenne	Labour	0.51	0.03	0.15	0.63	0.49	0.06	0.62	0.55	0.20	0.46	0.46	0.12	0.13	0.05	0.06	0.07	4.55
	Semis Direct	0.32	1.22	0.14	4.05	0.96	0.20	0.28	2.06	0.57	0.20	0.46	0.03	0.03	0.13	0.18	0.06	11.43

Légende :

<0.1 plantes/m ²	0.50< pl/m ² <0.99	5.00< pl/m ² <49.99
0.1< pl/m ² <0.49	1.00< pl/m ² <4.99	pl/m ² >=50.00

Richesse spécifique

La richesse spécifique est plus élevée en semis direct qu'en labour sauf dans l'essai C. L'effet des autres traitements n'est pas visible dans les essais.

Essai A1 : en général, la richesse spécifique totale moyenne est plus faible en labour qu'en semis direct (p value<0.001) et qu'en TCS (p value=0.004) (Tab.I) sauf pour TCS1C, SD1N et SD1C. Les densités obtenues en LABC tendent aussi à être inférieures au TCS1N (p value= 0.064).

Essai E : en général, la richesse spécifique totale moyenne est plus faible en labour qu'en semis direct (p value<0.001) (Tab.I) ; et plus précisément pour LABCLeguP comparé à SDCCruciA et pour LABNA comparé à SDCCruciA et SDCMeIA.

Essai A2 : il semble y avoir une richesse spécifique plus élevée en TCS et en SD qu'en labour (Tab.I).

Essai C : il semble y avoir une richesse spécifique plus élevée en labour qu'en TCS et en SD (Tab.I).

Tableau I : Richesse spécifique totale moyenne dans les 4 essais du travail du sol de longue durée de Boigneville de 2012 à 2016 pour chaque travail du sol (nombre d'espèces par cadre de 0.25 m²).
Total average weed diversity that occurs in 4 « long term tillage trials » in Boigneville from 2012 to 2016 for each type of tillage (species/quadrat of 0.25m²)

Essais	Type de travail du sol	Richesse spécifique
Essai A1	Labour	0.58 (a)
	TCS	1.42 (b)
	Semis direct	1.92 (b)
Essai E	Labour	3.20 (a)
	TCS	Pas de valeurs
	Semis direct	4.72 (b)
Essai A2	Labour	2.67
	TCS	3.81
	Semis direct	4.29
Essai C	Labour	3.50
	TCS	2.53
	Semis direct	1.80
Moyenne	Labour	2.49
	Semis Direct	3.18

Légende :

>5 esp/cadre	3< esp/cadre <3,99	0,5< esp/cadre <0,99
4< esp/cadre <4,99	1< esp/cadre <2,99	0,49<esp/cadre

DISCUSSION

Effet rotation

Une spécialisation des espèces adventices fût observée entre les essais et peut dépendre du type de culture implanté dans la rotation (Fried *et al.*, 2008 ; Munier-Jolain, 2018). Par ailleurs, moins la rotation est diversifiée, plus il y a une sélection d'espèces qui peuvent devenir invasives et donc difficiles à contrôler (Fried et Maillet, 2018). Ceci peut s'appliquer dans l'essai A1 où le panic pied de coq est présent de manière prépondérante. Il se développe aisément dans les cultures estivales irriguées comme le maïs, culture présente un an sur deux dans A1. Le gaillet gratteron est aussi favorisé par les cultures d'hiver comme le blé (présent dans les essais) mais aussi car il apprécie les sols calcaires (infloweb.fr) du site. La présence de ray grass sp. dans l'essai C est induite par l'historique culturale de l'essai qui fût anciennement mené en monoculture de blé (Labreuche, 2013). Les espèces adventices développées dans les essais vont généralement de paires avec les cultures mises en place car leurs cycles biologiques sont identiques (Fried et Maillet, 2018).

Effet travail du sol

Le type de travail du sol a un effet majeur sur la densité des adventices dans les essais de Boigneville. De fait, plus le travail du sol s'intensifie, plus la densité des adventices est faible (Darmency *et al.*, 2011 ; Chauvel *et al.*, 2011) car le labour permet d'enfouir en profondeur les semences dans des conditions défavorables à leur germination et à leur levée (Gardarin *et al.*, 2009 ; Munier-Jolain, 2018). Néanmoins, il est à noter que les TCS limitent les densités obtenues comparé au semis direct comme démontré dans la littérature (Debaeke et Orlando, 1991 ; Chauvel *et al.*, 2011). De fait, le TCS intègre un travail du sol sur une profondeur de 5-10 cm qui peut soit induire l'inhibition de la germination d'une partie des adventices, soit les exposer à la surface en conditions défavorables comme au faux semis (Clements *et al.*, 1996). Dans le détail, il est à noter que les adventices vivaces sont peu abondantes dans les essais, principalement représentée par du liseron des champs et du pissenlit. Elles semblent néanmoins être légèrement limitées en labour comparé aux TCSL comme cité dans d'autres études (Debaeke et Orlando, 1991) surtout dans l'essai A2 pour le pissenlit. De fait, le labour affaiblit les vivaces via ses actions d'enfouissement, de fractionnement et de destruction de ses organes végétatifs. L'effet du labour sur les adventices est plus prononcé pour les espèces annuelles car 85% d'entre elles sont situées en surface (ITCF, 1999). Les graminées annuelles sont aussi moins présentes après un labour qu'en TCSL dans les essais et surtout en semis direct. De fait, ce sont des adventices à germination superficielle (Debaeke et Orlando, 1991) avec une courte période de dormance et une faible persistance (Chauvel *et al.*, 2011) comme le panic pied de coq. Le constat sur les adventices dicotylédones annuelles est moins clair. Certaines d'entre elles augmentent et d'autres diminuent avec le travail du sol selon les espèces (Blackshaw *et al.*, 1994). Comme prouvé dans des études, certaines dicotylédones annuelles (Froud-Williams *et al.*, 1983 ; Blackshaw *et al.*, 1994) comme le laiteron sp., le gaillet gratteron et le séneçon sp. sont favorisées en non labour bien qu'elles soient plus prépondérantes en TCSL. A l'inverse, le mouron sp., la morelle noire et surtout les renouées sp. (voire la véronique sp.) sont plus présentes en labour mais cela reste nuancé selon les essais. Néanmoins, les affirmations de la littérature sont à moitié validées pour le chénopode sp (Froud-Williams *et al.*, 1983). De fait, il n'est pas favorisé dans les essais sous labour sauf en E où il est autant présent en labour qu'en semis direct. La répartition des espèces adventices selon le type de travail du sol peut s'expliquer par leurs caractéristiques propres dont le TAD. En effet, les espèces à fort TAD sont réduites en labour (Fried et Maillet, 2018) comme le panic pied de coq. Seul cas spécifique, le ray grass sp. dans l'essai C est favorisé en labour alors qu'il a un fort TAD. Ceci est dû au fait que l'essai était anciennement une monoculture de blé qui a favorisé l'accroissement important du stock semencier en ray grass sp (Labreuche, 2013). Dans cette situation, la réduction du stock est limitée en labour répété car il ramène à la surface les semences qui peuvent alors germer (Moss, 1980). A l'inverse, les espèces à TAD moyen (infloweb.fr) sont plus abondantes en semis direct, bien qu'elles soient aussi présentes en labour comme le gaillet gratteron, le séneçon sp. et le laiteron sp. Et enfin, les espèces à faible TAD comme la renouée sp., la morelle noire et le mouron sp. sont plus présentes en labour qu'en TCSL (Debaeke et Orlando, 1991 ;

Verdier, 1998). Seul le chénopode sp. va à l'encontre de la littérature en étant majoritairement plus présent en TCSL qu'en labour alors qu'il possède un TAD faible. Par la suite, d'autres traits peuvent expliquer la répartition des espèces selon le type de travail du sol. Par exemple, la morelle noire peut être favorisée en labour car elle possède une production semencière élevée (infloweb.fr) qui lui confère une capacité élevée d'infestation du sol. Par la suite, les adventices composées anémochores sont favorisées en général et surtout en non labour car elles se dispersent facilement par le vent (Derksen *et al.*, 1996) comme pour le séneçon sp., le laiteron sp. et le pissenlit sp (infloweb.fr). Les espèces à cycles courts et à germination répartie sur toute l'année sont aussi favorisées de manière générale et surtout en semis direct comme dans l'essai E pour le séneçon commun (il monte vite à graine et donc peut s'installer rapidement s'il n'est pas contrôlé – Debaeke et Orlando, 1991). Par ailleurs, plus les semences sont grandes et allongées, plus elles restent en surface et ont de chance de germer en semis direct comme pour le pâturin sp. et le laiteron.sp. Au contraire, plus elles sont rondes et petites, plus elles s'enfouissent naturellement dans le sol et moins elles ont de chance de germer (Grime *et al.*, 1981 ; Gardarin *et al.*, 2010a ; Gardarin *et al.*, 2011). Les espèces à grosses semences ont plus de chance de survivre en profondeur après un travail du sol profond (Gardarin *et al.*, 2010b) comme dans le cas du gaillet gratteron, du liseron des champs et des renouée sp. (infloweb.fr, key.org). Le travail du sol et les caractéristiques propres à chaque espèce expliquent aussi la richesse spécifique d'un milieu donné (Gardarin *et al.*, 2010b ; Travlos *et al.*, 2018) qui diminue par le labour. De fait, par son action d'enfouissement, le labour sélectionne les espèces d'adventices capables de survivre aux conditions qu'il crée (Lowery et Stoltenberg, 1998). Par exemple, les espèces à forte persistance seront ramenées à la surface au prochain labour et pourront ainsi germer (Munier-Jolain, 2018) ou encore celles à grosses graines qui ont la capacité de germer en profondeur comme la renouée sp. jusqu'à 7cm (Roberts, 1963).

Effet du couvert

Les sols couverts et les sols nus en interculture semblent induire en général des densités similaires d'adventices en fin de cycle de la culture marchande suivante. Néanmoins, des tendances se dégagent dans l'essai E avec des densités plus élevées derrière des couverts de crucifères par rapport aux légumineuses en semis direct, et des densités plus élevées après un sol couvert qu'un sol nu en semis direct dans l'essai A1. Ces résultats peuvent aller en apparence à l'encontre des vertus supposées des cultures intermédiaires dans la gestion des adventices. Les couverts exercent en effet une compétition sur les adventices pendant l'interculture. Cependant, cet effet est rarement observé dans la culture suivante (Métais *et al.*, 2019). De fait, il y a eu une destruction de l'ensemble des adventices présentes pendant l'interculture que ce soit sur sol nu ou sur sol couvert soit par une gestion appropriée des herbicides ou soit par un recours fréquent au travail du sol avant de semer la culture suivante. Concernant les tendances observées dans les essais de Boigneville en semis direct, on peut émettre l'hypothèse que le travail du sol atténue l'impact du couvert dans les campagnes suivantes par l'enfouissement du stock semencier, au contraire du semis direct laissant l'intégralité du stock semencier en surface (pouvant monter à graines). Cependant, il est plus difficile d'expliquer la plus forte présence d'adventices derrière crucifères par rapport aux légumineuses en semis direct dans l'essai E, dans la mesure où les crucifères qui se développent plus rapidement, sont censées être plus compétitives face aux adventices (Guesquière *et al.*, 2012).

CONCLUSION

En conclusion, dans les essais travail du sol de longue durée de Boigneville (91), la densité totale et la richesse spécifique des adventices en fin de cycle de cultures marchandes sont plus élevées en semis direct qu'en labour. Les TCS donnent des valeurs intermédiaires. Il n'y a pas d'impact significatif du type de couverture du sol en interculture sur les adventices de fin de cycle des cultures marchandes (même si les sols couverts tendent à induire une densité plus élevée que les sols nus en semis direct). Plus précisément, les densités d'adventices quel que soit leur type biologique et leur type de famille augmentent avec la réduction du travail du sol bien que ce constat soit limité pour les espèces vivaces. Cette réduction d'adventices en labour est plus marquée pour les espèces annuelles dont

surtout les graminées (e.g. panic pied de coq). Seules certaines espèces de dicotylédones annuelles sont plus présentes en labour qu'en TCSL. Les espèces visées sont les renouées sp., le mouron sp. et la morelle noire (voire la véronique sp.). Ces différences de densités d'adventices entre labour et semis direct s'expliquent par les caractéristiques de chaque adventice et principalement par leur TAD. De fait, les espèces ayant des densités élevées sous labour ont surtout de faibles TAD, tandis que les espèces les moins présentes ont des TAD forts à moyens. Néanmoins, ces constats ne sont pas toujours observés sur le site de Boigneville selon les essais. Par ailleurs, il est aussi à noter que les espèces à grosses graines, à cycles courts, anémochores et à forte production semencière sont favorisées en général bien que limitées par le labour. Pour confirmer ces derniers constats, des analyses statistiques sont néanmoins à réaliser.

REMERCIEMENTS

Cet article fait partie du Stage de Mémoire de Fin d'Etudes Ingénieur agronome de Charlène Alletru (ESA d'Angers). Ce stage a été réalisé dans le cadre du projet RAID qui répond à l'appel à projets 2017 CASDAR « Semences et sélection végétale », avec le soutien financier du ministère de l'agriculture et de l'Alimentation et du Compte d'Affectation Spéciale 'Développement Agricole et Rural'. Les auteurs tiennent à remercier Nathalie Colbach, Ludovic Bonin et Delphine Bouttet pour avoir soutenu et aiguillé Charlène Alletru dans son stage. Un remerciement tout particulier pour Emmanuelle Héritier pour avoir accompagné les auteurs dans la réalisation des analyses statistiques. Les équipes techniques qui ont permis d'obtenir les données de terrain sont aussi remerciées ainsi que Catherine Vacher pour avoir apporté son expertise dans la reconnaissance des adventices.

BIBLIOGRAPHIE

- AG (Agriculture.gouv.fr), 2019 - Plan de sortie du glyphosate : le dispositif. [en ligne]. *Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/plan-de-sortie-du-glyphosate-le-dispositif>. Consulté le 2/07/2019.*
- Barralis, G., 1976 - Méthode d'étude des groupements adventice des cultures annuelles ; application à la Côte d'Or. In *Ve Colloque international sur l'écologie et la biologie des mauvaises herbes*. Dijon, France, 59-68.
- Blackshaw R., Larney O., Lindwall W. et Kozub C., 1994 - Crop rotation and tillage effects on weed populations on the semi-arid Canadian prairies. *Weed Technology*, 8, 231-237.
- Bongaarts J., 1994 - Can the Growing Human Population Feed Itself? As human numbers surge toward 10 billion, some experts are alarmed, others optimistic. Who is right? *Scientific American*, 36-42.
- Chauvel B., Tschudy C. et Munier-Jolain N., 2011 - Gestion intégrée de la flore adventice dans les systèmes de culture sans labour. *Cahiers Agricultures*, 20, 3, 194-203.
- Clements D., Benott D., Murphy S. et Swanton C., 1996 - Tillage Effects on Weed Seed Return and Seedbank Composition. *Weed Science*, 44, 2, 314-322.
- Cohan J.-P., Labreuche J., Laurent F., Lieven J., Morin P. et Duval R., 2011 - Effets des couverts sur les rendements de la culture suivante, pp.14-26. In : *Cultures Intermédiaires, Impacts et conduite*. Arvalis-Institut du végétal-CETIOM- ITB, 236p.
- Debaeke P. et Orlando D., 1991 - Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice : conséquences pour le désherbage à l'échelle de la rotation. In : *Simplification du travail du sol*, Paris (France). Les Colloques, 65.
- Darmency H., Arnold G., Colbach N., Dessaux Y., Lecomte J., Le Corre V., 2011 - Chapitre 3 : Utilisation des VTH et ses effets sur l'agroécosystème, pp. 109-276. In : *Expertise scientifique collective CNRS-INRA : variétés végétales tolérantes aux herbicides* (Beckert, M., Dessaux, Y., Charlier, C., Darmency, H., Richard, C., Savini, I et Tibi, A), 428p.
- Derksen D., Blackshaw R., Boyetchk S., 1996 - Sustainability, conservation tillage and weeds. *Canadian Journal of Plant Science*, 76, 651-659.
- FAO, 2009 - Feeding the world in 2050. *World Agricultural Summit on Food Security 16-18 November 2009, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

- Fried G., Maillet J., 2018 - Chapitre 2 : Diversités et réponses de la flore des champs cultivés à l'évolution des pratiques en France, pp.39-57. In: *Chauvel, B., Darmency, H., Munier-Jolain, N et Rodriguez, A - Gestion durable de la flore adventice des cultures Éditions Quae, 354p.*
- Fried G., Norton L.-R., Reboud X., 2008 - Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128, 68-76.
- Froud-Williams R., Drennan D., Chancellor R., 1983 - Influence of cultivation regime on weed floras of arable cropping systems. *Journal of Applied Ecology*, 20, 187-197.
- Gardarin A., Dürr C., Colbach N., 2009 - Effects of seed depth and soil aggregates on the emergence of weeds with contrasting seed traits. *Weed Research*, 50, 91-101.
- Gardarin A., Dürr C., Colbach N., 2010b - Effects of seed depth and soil structure on the emergence of weeds with contrasted seed traits. *Weed Research*, 50, 91-101.
- Gardarin A., Dürr C., Mannino M.-R., Busset H., Colbach N., 2010a - Seed mortality in the soil is related to the seed coat thickness. *Seed Science Research*, 20, 243-256.
- Gardarin A., Dürr C., Colbach N., 2011 - Prediction of germination rates of weed species : relationships between germination parameters and species traits. *Ecological Modelling*, 222, 3, 626-636.
- Gasquez J., 2018 - Historique de la gestion de la flore adventice, 19-37. *Gestion durable de la flore adventice des cultures. Versailles, Editions Quae, 354p.*
- Godfray H., Beddington J., Crute I., Haddad L., Lawrence D., Muir J., Pretty J., Robinson S., Thomas S., Toulmin C., 2010 - Food Security : The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327, 5967, 812-818.
- Griffon M., 1999 - Développement durable et agriculture : la révolution doublement verte. *Cahiers Agriculture*, 8, 259-267.
- Guesquièrre J., Cadillon A., Fourrié L., Fontaine L., 2012 - Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB. ITAB
- Grime J., Mason G., Curtis A., Rodman J., Band S., Mowforth M., Neal A.j, Shaw S., 1981 - A comparative study of germination characteristics in a local flora. *Journal of Ecology*, 69, 3, 1017-1059.
- ifen. Disponible sur : www.ifen.fr
- Infloweb. Disponible sur : <http://www.infloweb.fr/>.
- Labreuche J., 2013 - Contrôle du ray-grass : un impact majeur du travail du sol et de la rotation. *TCS*, 75, 8-9.
- Labreuche J., Le Souder C., Castillon P., Ouvry J.-F., Real B., Germon J.-C., 2007 - Évaluation des impacts environnementaux des techniques culturales sans labour en France. ADEME-ARVALIS Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITBCETIOM-IFV. Angers : Ademe éditions.
- Lowery B., Stoltenberg D., 1998 - Tillage Systems and Crop Residue Management Impacts on Soil Physical Properties : Implications for Weed Management. In : *Hatfield, J., Buhler, D et Stewart, B. :Integrated weed and soil management. United States of America, Michigan, Chelsea : Ann Arbor Press.*
- Mazoyer R., Roudart L., 1994 - Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine. Préface : paysans du monde : le prix de la sécurité alimentaire. Editions du seuil, 705p.
- Métais P., Vuillemin F., Cordeau S., 2019 - Travail du sol et couverts quels effets sur les adventices ? La pratique des couverts se développe. Son influence sur les adventices et les interactions avec le travail (ou le non-travail) du sol ont été étudiées. *Phytoma*, 720, 35-38.
- Moss S., 1980 - A study of populations of black grass (*Alopecurus myosuroides* Huds) in winter wheat, as influenced by seed shed in the previous crop, cultivation system and straw disposal method. *Annals of Applied Ecology*, 94, 121-126.
- Munier-Jolain N., 2018 - Chapitre 6 : Leviers de la protection intégrée en grandes cultures : principes, modes d'action, efficacité, 111-132. In: *Chauvel, B., Darmency, H., Munier-Jolain, N et Rodriguez, A - Gestion durable de la flore adventice des cultures Éditions Quae, 354p.*

- Munier-Jolain N., Deytieux V., Guillemin J.-P., Granger S., Gaba S., 2008 - Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de la Protection Intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. *Innovations Agronomiques*, 3, 75–88.
- Roberts H.-A., 1963 - Studies on the Weeds of Vegetable Crops: III. Effect of Different Primary Cultivations on the Weed Seeds in the Soil. *Journal of Ecology*, 51, 1, 83-95.
- Rodriguez A., Gasquez J., 2008 - Gestion de la flore adventice en grandes cultures. *Innovations Agronomiques*, 3, 107-120.
- Roger-Estrade J., Labreuche J., Boizard H., 2014 - Importance du travail du sol : typologie des modes de mise en œuvre et effets sur le rendement des cultures. In : *Labreuche, J., Laurent, F et Roger Estrade, J – Faut-il travail le sol ? Acquis et Innovations pour une agriculture durable. France : Editions Quae, 191p. Arvalis Institut du Végétal.*
- Shrestha A., Knezevic S.-Z., Roy R.-C., Ball-Coelho B.-R., Swanton C.-J., 2001 - Effect of tillage, cover crop and crop rotation on the composition of weed flora in a sandy soil. *Weed Research*, 42, 76-87.
- Stoate C., Boatman N.-D., Borralho R.-J., Rio Carvalho C., de Snoo G.-R., Eden P., 2001 - Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental and Management*, 63, 337–365.
- Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.-L., 2011 - Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 50, 20260–20264.
- Travlos I., Cheimona N., Roussis I., Bilalis D., 2018 - Weed-Species Abundance and Diversity Indices in Relation to Tillage Systems and Fertilization. *Frontiers in Environmental Sciences*, 6, 11.
- Verdier J.-L., 1998 - Mieux connaître les mauvaises herbes. *Alter Agri*, 32, 21-23.
- Waggoner J., Henneberger P., Kullman G., Umbach D., Kamel F., Freeman L., Alavanja M., Sandler D., Hoppin J., 2013 - Pesticide Use and Fatal Injury among Farmers in the Agricultural Health Study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 86, 177–187.